

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S - 1
KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA**



**PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT PENYELEKSI
APEL BERDASARKAN UKURAN DAN BERAT BERBASIS
MIKROKONTROLER RENESAS R8C / 13**

SKRIPSI

Disusun oleh :
HARIYANTO TUNGGUL P
Nim : 01.17.049



MARET 2007

6. Clock Generation Circuit

The clock generation circuit contains two oscillator circuits as follows:

- Main clock oscillation circuit
- On-chip oscillator (oscillation stop detect function)

Table 6.1 lists the clock generation circuit specifications. Figure 6.1 shows the clock generation circuit. Figures 6.2 to 6.4 show the clock-related registers.

Table 6.1 Clock Generation Circuit Specifications

Item	Use of clock	Clock frequency	Usable oscillator	Pin to connect oscillator	Oscillation starts and stops	Oscillator status after reset	Other
Main clock oscillation circuit	• CPU clock source • Peripheral function clock source	0 to 20 MHz	• Ceramic resonator • Crystal oscillator	Xin, Xout ¹	Present	Stopped	Externally derived clock can be input ²
	• CPU clock source • Peripheral function clock source when the main clock stops oscillating	Approx. 8 MHz		Note ¹	Present	Stopped	
On-chip oscillator	• CPU clock source • Peripheral function clock source	Approx. 125 kHz		Note ¹	Present	Oscillating	
	• CPU clock source • Peripheral function clock source when the main clock stops oscillating						

Notes:

1. Can be used as P46 and P47 when the on-chip oscillator clock is used for CPU clock while the main clock oscillation circuit is not used.
2. Set the CMOS bit in the CMOS register to "1" (main clock stops) and the CM13 bit in the CM1 register to "1" (Xin-Xout pin) when the external clock is input.



**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S - 1
KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA**

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

1. Nama : HARIYANTO TUNGGUL PAWENANG
2. Nim : 01.17.049
3. Jurusan : Teknik Elektro S - I
4. Konsentrasi : Teknik Elektronika
5. Judul skripsi : Perencanaan dan Pembuatan Alat Penyeleksi Apel Berdasarkan Ukuran dan Berat Berbasis Mikrokontroler Renesas R8C/13

Dipertahankan di hadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-I) pada :

Hari : **Jumat**
Tanggal : **23 Maret 2007**
Dengan Nilai : **85,125** *By*



Ketua

Panitia Ujian Skripsi

Sekretaris

(Ir. Mochtar Asroni, MSME.)
NIP. Y. 1018100036

(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT.)
NIP. Y. 1039500274

Anggota Penguji

Penguji I

Penguji II

(Ir. Usman Djuanda, MM.)
NIP. Y. 1018700143

(Ir. Eko Nurcahyo)
NIP. Y. 1028700172

ABSTRAKSI

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT PENYELEKSI APEL BERDASARKAN UKURAN DAN BERAT BERBASIS MIKROKONTROLER RENESAS R8C / 13

(Hariyanto Tunggul Pawenang, 01.17.049, Jurusan Teknik Elektro S-1)
(Dosen Pembimbing : Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT)

Pengembangan teknologi baru bertujuan untuk memberikan fasilitas dan kemudahan kepada manusia dalam melakukan aktivitas kerja. Karena manusia memiliki keterbatasan dalam hal kemampuan fisiknya, sehingga dalam aktivitasnya memiliki batas-batas yang tertentu pula. Dengan demikian akan berpengaruh langsung pada tingkat efisiensi dari kerja manusia

Di dalam tugas akhir ini, dibahas tentang penerapan mikrokontroler Renesas R8C / 13 dalam perencanaan dan pembuatan sistem penyeleksi apel. Alat yang dibuat meliputi perencanaan perangkat keras dan perangkat lunak. Perencanaan perangkat keras meliputi: rangkaian sensor strain gage, rangkaian LDR, rangkaian sensor posisi, mikrokontroler dan rangkaian *driver* relay. Perencanaan perangkat lunak berupa *flowchart* cara kerja sistem. Kerja sistem bermula pada pengukuran ukuran apel dan berat kemudian akan dipilih berdasarkan kriteria berat serta ukuran yang telah ditentukan. Proses ini akan kembali ke awal apabila apel yang terpilih telah dimasukkan ke dalam wadah sesuai dengan kriterianya.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, karena berkat limpahan rahmat serta karunia - Nya, penyusun telah dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul “PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT PENYELEKSI APEL BERDASARKAN UKURAN DAN BERAT BERBASIS MIKROKONTROLER RENESAS R8C / 13”.

Selain itu, diharapkan laporan skripsi ini juga akan bisa memberikan manfaat bagi para pengusaha apel yang ingin menerapkan perencanaan dan pembuatan dari alat penyusun.

Tak lupa pada kesempatan kali ini, penyusun juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSIE selaku Rektor ITN Malang.
2. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S – 1 / Elektronika.
3. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT selaku dosen Pembimbing Skripsi.
4. Kedua orang tua dan keluarga besar penyusun atas semua dukungan moral dan spiritualnya.
5. Teman – teman semua yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan laporan skripsi ini.

Penyusun telah berusaha semaksimal mungkin untuk menyelesaikan laporan skripsi ini dengan sebaik – baiknya, tetapi sebagai manusia yang memiliki kekurangan, penyusun menyadari bahwa laporan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Maka penyusun sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk kesempurnaan laporan skripsi ini.

Malang, Maret 2007

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	ii
ABSTRAKSI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan.	3
1.5. Metodologi	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
1.7. Relevansi.....	4
BAB II TEORI DASAR	5
2.1. Mikrokontroler Renesas R8C / 13	5
2.1.1. Umum	5
2.1.2. Spesifikasi R5F21134FP	6
2.1.3. Kelebihan R8C/Tiny.....	7
2.1.4. Konfigurasi <i>Pin</i> R8C / 13 R5F21134FP.....	8
2.1.5. <i>Peripheral</i> R8C R5F21134FP	12

2.2. <i>Strain Gage</i>	15
2.3. LDR (<i>Light Depent Resistor</i>).....	16
2.4. <i>Limit Switch</i>	17
2.5. LED (<i>Light Emiting Diode</i>).....	17
2.6. Transistor Sebagai Saklar	18
2.7. Penguat Operasional	20
2.7.1. Penguat Tak Membalik (<i>Non Inverting</i>).....	21
2.7.2. Penyangga (<i>Buffer</i>).....	21
2.7.3. Penguat Selisih (<i>Diferensial</i>).....	22
2.8. IC ULN 2004A	23
2.9. <i>Relay</i>	24
2.10. Motor DC	26
2.10.1 Cara Kerja Motor DC	26
BAB III PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT	28
3.1. Perancangan Perangkat Keras	28
3.1.1. Rangkaian Sensor Cahaya	30
3.1.2. Rangkaian sensor Posisi.....	32
3.1.3. Rangkaian <i>Strain Gage</i>	33
3.1.4. Mikrokontroler Renesas R5F21134FP	35
3.1.5. Driver Motor DC	36
3.2. Perancangan Perangkat Lunak	38
BAB IV PENGUJIAN ALAT	40
4.1. Pendahuluan.....	40

4.2. Pengujian Rangkaian Sensor	40
4.2.1. Tujuan.....	40
4.2.1.1. Rangkaian Sensor Cahaya.....	40
4.2.1.2. Rangkaian sensor posisi	42
4.2.1.3. Rangkaian <i>Strain Gage</i>	43
4.3. Pengujian <i>Relay</i> Penggerak Motor	46
4.3.1. Tujuan	46
4.4. Pengujian Keseluruhan Alat	48
4.4.1. Tujuan	48
BAB V PENUTUP	49
5.1. Kesimpulan	49
5.2. Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Blok Diagram dan Peta <i>Peripheral</i> R8C / 11, 13	7
Gambar 2.2. Konfigurasi <i>Pin</i> R8C R5F21134FP	8
Gambar 2.3. Diagram Blok ADC	12
Gambar 2.4. Strain Gage	15
Gambar 2.5. Rangkaian Transistor Sebagai Saklar	19
Gambar 2.6. Titik <i>Saturasi</i> dan Titik <i>Cut-Off</i> pada Garis Beban DC	19
Gambar 2.7. Operasional Amplifier (Op-Amp)	20
Gambar 2.8. Op-Amp <i>Non Inverting</i> dengan Tegangan <i>Input</i> positif	21
Gambar 2.9. Rangkaian Buffer	22
Gambar 2.10. Rangkaian Penguat Selisih	23
Gambar 2.11. <i>Pin pin</i> Koneksi Dalam IC ULN2004A	24
Gambar 2.12. Jenis <i>Relay</i>	25
Gambar 2.13. Cara Kerja Motor DC	26
Gambar 3.1. Diagram Blok sistem	28
Gambar 3.2. Rangkaian LDR	32
Gambar 3.3. Rangkaian <i>Limit Switch</i>	33
Gambar 3.4. Rangkaian <i>Strain Gage</i>	34
Gambar 3.5. Koneksi <i>Pin</i> Mikrokontroler Rcnscas R8C / 13	35
Gambar 3.6. Rangkaian Driver <i>Relay</i>	37
Gambar 3.7. <i>Flow Chart</i> Program	39
Gambar 4.1. Rangkaian Pengujian LDR	41
Gambar 4.2. Rangkaian Pengujian <i>limit Switch</i>	43

Gambar 4.3. Rangkaian Pengujian <i>Strain Gage</i>	44
Gambar 4.4. Rangkaian Pengujian <i>Relay</i>	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Konfigurasi <i>Pin –Pin</i> dari R8C/13 (R5F21134FP)	9
Tabel 2.2. <i>Mode – Mode Timer</i>	13
Tabel 3.1. <i>Pin – Pin</i> yang Digunakan Dalam Pembuatan Alat	36
Tabel 4.1. Hasil Pengujian LDR	42
Tabel 4.1. Hasil Pengujian <i>Limit Switch</i>	43
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Rangkaian <i>Strain Gage</i>	45
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Untuk Mengetahui Respon <i>Driver Relay</i>	47

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama di bidang elektronika telah membawa perubahan besar dengan memberikan berbagai macam peralatan yang dapat meningkatkan efektifitas dan efisiensi berbagai macam aktivitas manusia.

Dalam penjualan apel oleh pengusaha apel sering diperlukan syarat tertentu menurut standar dari pemesan, diantaranya menurut berat dan ukuran dari apel tersebut. Untuk dapat melakukan penyeleksian apel dalam jumlah banyak yang harus diukur satu persatu akan sulit dilakukan dengan menggunakan tenaga manusia.

Dari permasalahan di atas maka penyusun memiliki ide untuk membuat alat penyeleksi apel berdasarkan ukuran dan beratnya. Dengan demikian diharapkan peralatan tersebut dapat menyeleksi apel berdasarkan ukuran dan beratnya secara otomatis.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang terdapat dalam latar belakang, maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merencanakan dan membuat alat yang dapat mengukur apel berdasarkan ukuran dan beratnya.
2. Bagaimana membuat *hardware* dan *software* dari mikrokontroler Renesas R8C / 13 Tiny (R5F21134FP).
3. Bagaimana merencanakan dan membuat alat yang dapat menyeleksi apel berdasarkan ukuran dan beratnya.

1.3. Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas tidak meluas, maka pembahasan dibatasi hanya pada hal-hal berikut :

1. Catu daya tidak dibahas.
2. Tipe mikrokontroler yang digunakan adalah Renesas R8C / 13 Tiny (R5F21134FP).
3. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa C untuk minimum sistem dari renesas R8C / 13 Tiny (R5F21134FP).
4. Yang dimaksud ukuran apel adalah rendah, sedang, atau tinggi.
5. Yang dimaksud berat apel adalah ringan, sedang, atau berat.
6. Menyeleksi untuk 1 jenis apel.

1.4. Tujuan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah merencanakan dan membuat alat yang mampu menyeleksi apel berdasarkan ukuran dan beratnya yang dikontrol secara otomatis.

1.5. Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan Data.

Dengan melakukan studi literatur terhadap data yang diperlukan guna menunjang kelancaran di dalam proses pembuatan alat. Studi dilaksanakan dengan mencari buku yang menjadi landasan dari tiap teori maupun melalui sarana internet.

2. Perencanaan dan Pembuatan Alat.

Pada tahap ini, akan dibuat alat dan program berdasarkan rencana awal dengan berlandaskan pada pedoman yang ada.

3. Pengujian alat.

Pengujian alat diperlukan untuk mengetahui kesalahan atau kekurangan pada alat yang meliputi pengujian *hardware* dan *software* :

1. Pengujian *hardware* meliputi pengujian perblok dan pengujian secara keseluruhan.
2. Pengujian *software* meliputi pengujian persub rutin dan pengujian secara keseluruhan.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Memuat latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi dan sistematika pembahasan.

BAB II : DASAR TEORI

Membahas semua teori dasar yang berkaitan langsung dengan perencanaan sistem.

BAB III : PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Membahas perencanaan dan pembuatan sistem yang meliputi *hardware* dan *software*.

BAB IV : PENGUJIAN ALAT

Berisi tentang uji coba alat yang telah dibuat, pengoperasian dan spesifikasi alat.

BAB V : PENUTUP

Berisi kesimpulan dari alat yang telah dibuat dan saran untuk pengembangan berikutnya.

1.7. Relevansi

Diharap skripsi ini dapat dihasilkan metode perancangan dan *prototype* yang dapat digunakan untuk menyeleksi apel dengan baik.

BAB II

DASAR TEORI

Pada bab II ini berisi tentang beberapa dasar teori yang mendasari penyusunan dan pembuatan laporan skripsi yang meliputi teori dasar tentang Renesas R8C / 13 Tiny (R5F21134FP), *strain gage*, LDR, *limit switch*, LED, transistor, Op-Amp, IC ULN2004A, *relay* dan motor DC.

2.1. Renesas R8C/13 Tiny (R5F21134FP)

2.2.1. Umum

Perbedaan mendasar antara mikrokontroler dengan mikroprosesor adalah mikrokontroler selain memiliki CPU juga dilengkapi dengan memori dan *input – output* yang merupakan kelengkapan sebagai sistem minimum mikrokomputer sehingga sebuah mikrokontroler dapat dikatakan sebagai mikrokomputer dalam keping tunggal (*Single Chip Mikrokontroler*) yang dapat berdiri sendiri.

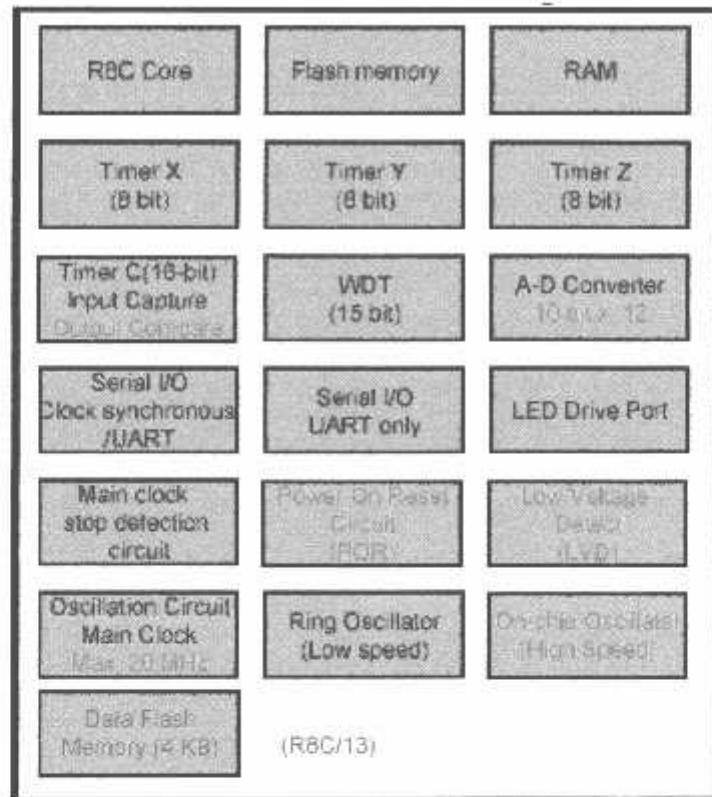
Renesas R8C adalah salah satu jenis seri dalam keluarga mikrokontroler M16C. CPU R8C sama dengan CPU CISC 16-bit M16C, hanya saja lebar jalur data R8C adalah 8-bit. Karena menggunakan CPU yang sama maka R8C memiliki *instruction set* hampir sama dengan M16C. Perbedaannya hanya terletak pada 2 instruksi, yaitu R8C tidak memiliki instruksi JMPS (*Jump Special Page*) dan JSRS (*Jump Subroutine Special Page*). R8C/13 adalah salah satu tipe mikrokontroler dalam seri R8C. Mikrokontroler ini memiliki kemasan 32-pin LQFP. Dalam perancangan pada skripsi ini menggunakan mikrokontroler seri

R5F21134FP, yaitu R8C/13 yang memiliki Flash ROM 16 KB (1000 E/W *cycles*) dan RAM sebesar 1 KB.

2.2.2. Spesifikasi R5F21134FP

Berikut ini adalah spesifikasi R5F21134FP dengan peta *peripheral* dan memori-memorinya.

- Mempunyai *CPU Core* (16-bit) 1 – 20 MHz, 3.0 – 5.5 Volt dan 1 – 10MHz 2.7 – 5.5 Volt.
- Rangkaian *Clock*, kecepatan *Low/High On-Chip Oscillator*. *Clock* utama dengan Xin/Xout.
- Memori (ROM/SRAM) 16 *Kbytes* / 1 *Kbytes*, 2 x 2 *Kbytes* Data Flash pada R8C/12, 13.
- Kemasan 32 pin LQFP (7mm x 7mm)



Gambar 2.1. Blok Diagram dan Peta *Peripheral* R8C/11, 13 ^[1]

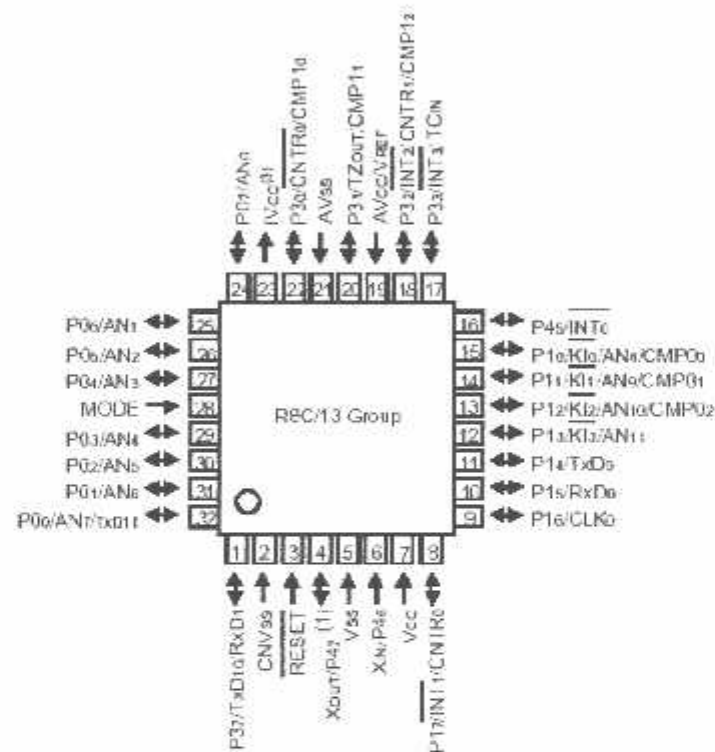
2.2.3. Kelebihan R8C/Tiny

Banyak kelebihan-kelebihan yang dimiliki R8C/Tiny diantaranya adalah :

- Kompatibel dengan M16C yaitu kompatibel dalam instruksi dan kode.
- *Peripheral* lebih terintegrasi jadi lebih hemat.
- *Electromagnetic Compatibility* (EMC) mempunyai EMI rendah, EMS tinggi.
- *Development Tool* (*Compiler* dan *Debugger*) didapat dengan murah dan difasilitasi *On-Chip Debugger*.
- Memiliki fitur *fail-safe* yaitu pengamanan terhadap kegagalan sistem.

- Konsumsi daya rendah.
- 16 *bit* CISC CPU dengan kecepatan maksimal 20 MHz (1:1).
- 89 perintah CISC lebih hemat ROM kira-kira 20 %, RAM sampai 1 KB.
- Waktu konversi ADC hanya 3 μ S.

2.2.4. Konfigurasi Pin R8C R5F21134FP



Gambar 2.2. Konfigurasi *Pin* R8C R5F21134FP^[11]

Gambar di atas adalah konfigurasi *pin-pin* dari R8C R5F21134FP untuk lebih jelasnya dapat diamati pada tabel dekripsi *pin-pin* berikut ini :

Tabel 2.1. Konfigurasi *pin-pin* dari R8C R5F21134FP ⁽¹⁾

Nama Sinyal	Nama Pin	Tipe I/O	Fungsi
Masukan Catu Daya	Vcc, Vss	I	Tegangan 2,7 V – 5,5 V pada <i>pin</i> Vcc. Tegangan 0 V pada <i>pin</i> Vss.
I Vcc	Ivcc	O	<i>Pin</i> ini untuk menstabilkan catu daya internal, <i>pin</i> ini dihubungkan pada Vss melalui kapasitor 0,1 μ F. Jangan dihubungkan pada Vcc.
<i>Input</i> Catu Daya Analog	Avcc, Avss	I	Ini adalah untuk catu daya pada ADC. Avcc dihubungkan pada Vcc, AVss dihubungkan ke Vss. Dianjurkan untuk menghubungkan kapasitor diantara <i>pin</i> AVcc dan AVss.
<i>Input Reset</i>	RESET	I	Mengaktifkan “L” untuk masukan ini mereset MCU
CNVss	CNVss	I	<i>Pin</i> ini dihubungkan pada Vss melalui sebuah resistor.
MODE	MODE	I	<i>Pin</i> ini dihubungkan pada Vcc melalui sebuah resistor.
<i>Input Clock</i> Utama	Xin	I	<i>Pin-pin</i> ini disediakan untuk membangkitkan rangkaian I/O <i>Clock</i>

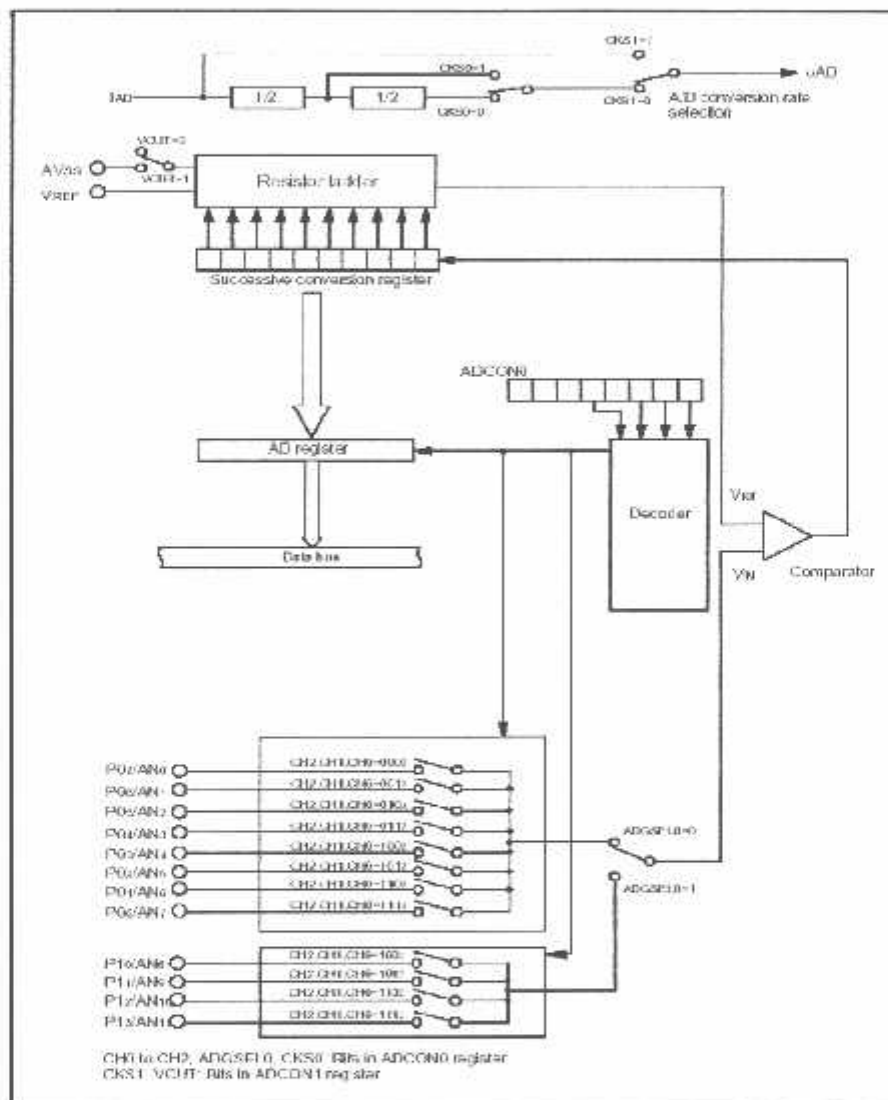
<i>Input Clock Utama</i>	Xin	I	<i>Pin-pin ini disediakan untuk membangkitkan rangkaian I/O Clock Utama. Dihubungkan dengan sebuah keramik resonator atau kristal diantara pin Xin dan Xout. Jika digunakan clock internal maka pin Xin dan Xout dalam keadaan terbuka.</i>
<i>Output Clock Utama</i>	Xout	O	
<i>Input Interupsi</i>	INT0 – INT3	I	<i>Pin ini sebagai masukan interupsi.</i>
<i>Input Kunci Interupsi</i>	KI0 – KI3	I	<i>Pin ini sebagai masukan kunci interupsi.</i>
<i>Timer X</i>	CNTR0	I/O	<i>Pin I/O ini adalah untuk Timer X.</i>
	CNTR0	O	<i>Pin Ouput untuk Timer X.</i>
<i>Timer Y</i>	CNTR1	I/O	<i>Pin I/O untuk Timer Y.</i>
<i>Timer Z</i>	TZout	O	<i>Pin Ouput untuk Timer Z.</i>
<i>Timer C</i>	TC in	I	<i>Pin Input untuk Timer C.</i>

<i>Interface</i>	RxD0, RxD1	I	<i>Pin input</i> untuk data <i>Serial</i> .
	TxD0, TxD10, TxD11	O	<i>Pin output</i> untuk data <i>Serial</i> .
	Vref	I	Masukan tegangan referensi untuk ADC. Pin Vref dihubungkan ke Vcc.
ADC,	AN0 – AN11	I	<i>Pin input</i> analog pada ADC.
<i>Port I/O</i>	PO0-PO7, P10-P17, P30-P33, P37, P45	I/O	Merupakan port I/O CMOS 8 <i>bit</i> . Setiap <i>port</i> mempunyai pilihan register pengarah sebagai <i>input</i> atau <i>output</i> . Tiap <i>Port</i> dapat dialamati per <i>bit</i> . Dapat diatur menggunakan <i>pull up</i> resistor dengan program. P10 – P17 mempunyai <i>driver</i> transistor.
<i>Port Input</i>	P46, P47	I	<i>Pin</i> ini hanya bisa digunakan sebagai <i>input</i> .

2.2.5. Peripheral R8C R5F21134FP

R8C R5F2|I34FP mempunyai beberapa *peripheral-peripheral* yang banyak digunakan pada beberapa aplikasi-aplikasi penting, diantaranya adalah sebagai berikut :

- *Analog To Digital Converter (ADC)*



Gambar 2.3. Diagram Blok ADC ^[1]

Dengan 12 SAR ADC S/H yang mempunyai *resolusi 8 bit* atau *10 bit*. *Mode* Operasinya menggunakan *One-Shot* dan *Repeat* dengan waktu konversi 2.8 μ S (pada *clock* 10 MHz). Berikut gambar diagram blok ADC *built in* pada ini :

- Timer Mode**

Mempunyai *timer* sebanyak 4 yaitu *timer X, Y, Z, C*. Berikut adalah *mode-mode timer* yang dimiliki :

Tabel 2.2. *Mode-mode Timer* ^[1]

Item		Timer X	Timer Y	Timer Z	Timer C
Configuration		8-bit timer with 8-bit prescaler	8-bit timer with 8-bit prescaler	8-bit timer with 8-bit prescaler	16-bit timer
Count		Down	Down	Down	Up
Count source		•f1 •f2 •f8 •f32	•f1 •f8 •FRNG •input from CNTR1 pin	•f1 •f2 •f8 •Timer Y underflow	•f1 •f8 •f32
Function	Timer mode	provided	provided	provided	not provided
	Pulse output mode	provided	not provided	not provided	not provided
	Event counter mode	provided	provided ¹	not provided	not provided
	Pulse width measurement mode	provided	not provided	not provided	not provided
	Pulse period measurement mode	provided	not provided	not provided	not provided
	Programmable waveform generation mode	not provided	provided	provided	not provided
	Programmable one-shot generation mode	not provided	not provided	provided	not provided
	Programmable wait one-shot generation mode	not provided	not provided	provided	not provided
	Capture	not provided	not provided	not provided	provided
Input pin		CNTR0	CNTR1	INT0	TCIN
Output pin		CNTR0 CNTR0	CNTR1	TZOUT	not provided
Related interrupt		Timer X int INT1 int	Timer Y int INT2 int	Timer Z int INT0 int	Timer C int INT3 int
Timer stop		provided	provided	provided	provided

- **Low Voltage Detect (LVD)**

LVD adalah untuk mendeteksi Vcc kurang dari 3.8 V (± 0.5 V)

- **Watchdog Timer**

Watchdog berfungsi untuk mendeteksi ketika program diluar kontrol.

- **On Chip Debugger**

Fasilitas ini mempunyai fungsi untuk dapat *debug* pada waktu mikrokontroler sedang berjalan. Antara PC dan mikrokontroler dapat berkomunikasi, PC akan mengetahui aktivitas mikrokontroler saat itu.

Syarat-syarat *On Chip Debugger* adalah:

- Vektor *Address Match interrupt* harus dihindari.
- *Single step interrupt* tidak dapat digunakan bersamaan *interrupt* lain.
- *UART1* tidak boleh dipakai.
- Instruksi BRK tidak boleh dipakai.
- Flash Address C000H – C7FFH.
- PD 3.7 harus “0”.
- B5 IMR 0 harus “1”
- Menyiapkan 8 Byte untuk *Stack*.
- *On Chip Debugger* berpengaruh pada *timing run*.

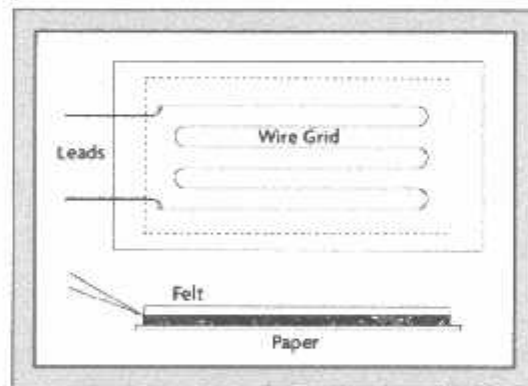
- **Rangkaian Osilator**

Pada osilator utama menggunakan kristal luar sampai dengan 20 MHz, dengan memiliki fitur *Clock Stop Detect*. Kemudian untuk *On Chip*

Osilator disediakan kecepatan *Low* 125 KHz dan *High* 8 MHz. Saat setelah *reset*, *default clock* adalah kecepatan rendah *On Chip* osilator 125 KHz.

2.2. Strain Gage

Transduser yang digunakan sebagai transduser berat dalam skripsi ini adalah *strain gage*. *Strain gage* adalah transduser pasif yang merubah perubahan mekanis menjadi perubahan tahanan. *Strain gage* berupa *wafer* yang dapat disatukan (*bonded*) ke berbagai bahan untuk mengukur tegangan yang diberikan kepadanya. *Strain gage metalik* (logam) dibuat dari kawat tahanan berdiameter kecil. Tahanan dari foil kawat atau logam tersebut berubah terhadap panjang jika bahan tempat “*gage*” disatukan mengalami tarikan atau tekanan. Perubahan tahanan ini sebanding dengan regangan yang diberikan dan diukur dengan sebuah jembatan wheatstone yang dipakai secara khusus.



Gambar 2.4. *Strain Gage* ^[3]

Sensitivitas *strain gage* disebut faktor *gage* (GF) yang dirumuskan sebagai berikut ^[3]:

$$GF = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L} \dots\dots\dots (2-1)$$

Dimana :

- G = faktor *gage*
- R = tahanan *gage* nominal
- ΔR = perubahan tahanan *gage*
- L = panjang nominal bahan percobaan (kondisi tak teregang)
- ΔL = perubahan panjang bahan percobaan

Perubahan tahanan ΔR pada sebuah konduktor yang panjangnya L, dinyatakan dengan persamaan berikut ^[4]:

$$R = \rho \frac{L}{A} \dots\dots\dots (2-2)$$

Dimana : ρ = tahanan spesifik dari konduktor

- L = panjang konduktor
- A = luas penampang
- d = diameter konduktor

2.3. LDR (*Light Dependent Resistor*)

LDR merupakan salah satu komponen elektronika yang dapat mendeteksi cahaya. Resistansi LDR akan bergantung dengan banyaknya cahaya yang mengenainya. Dalam skripsi ini LDR berfungsi mendeteksi pantulan cahaya pada

led. Jika LDR berada pada cahaya led maka akan membuat resistansi LDR menjadi mengecil. Sedangkan jika tidak mengenai cahaya led maka resistansi LDR menjadi tinggi.

2.4. Limit Switch

Limit Switch merupakan sebuah saklar yang bekerja karena adanya sebuah sentuhan atau gesekan. Pemasangan saklar ini harus tepat serta dapat memberikan respon yang cepat dengan memperhatikan faktor-faktor yang menyangkut tingkat kekritisannya seperti ukuran. *Limit switch* ini mempunyai beberapa bagian mekanik yang akan disentuh oleh benda atau mekanisasi lainnya. Kemudian bagian ini menggerakkan lengan pengungkit yang diteruskan dalam suatu kontak. *Limit switch* ini berfungsi sama dengan saklar, dimana jika ada beban yang menyentuh *switch* maka hubungan pada kaki *switch* akan berpindah.

Ada dua anak kontak dari limit switch yaitu NO dan NC. Kontak NO (*Normally Open*) adalah kontak yang menjadi aktif bila lengan pengungkit mendapat tekanan sedangkan kontak NC (*Normally Close*) adalah kontak yang menjadi aktif bila lengan pengungkit tidak mendapat tekanan.

2.5. Light Emitting Diode (LED)

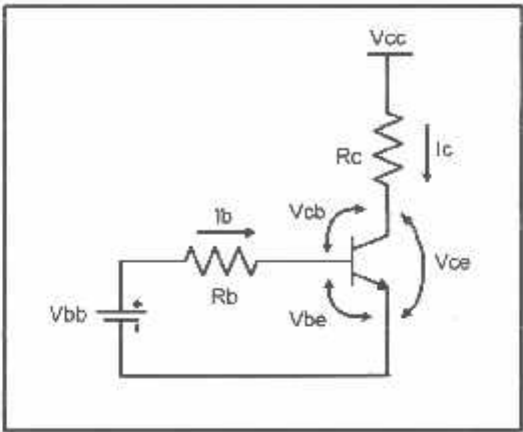
Semua diode semikonduktor menghasilkan pancaran ketika elektron dalam pita konduksi berkombinasi dengan *hole* dalam pita valensi. Diode silikon normal mempunyai panjang gelombang pancar yang panjang (dalam *range* sinar infra merah), dan pancarannya diserap sekitar bagian semikonduktor. Dalam sebuah

LED, semikonduktor mempunyai energi gap yang tinggi dan berbentuk *junction* yang berarti pancaran dari *junction* dapat dilewatkan.

LED dibentuk dari *substrat* yang diinjeksi-N yang dibuat dari GaP atau GaAsP. Sebuah lapisan tipis *epitaksial* yang mendapat *injeksi* P pada lapisan bagian atas dari *substrat*. *Junction* P-N, dimana sebagai tempat rekombinasi dan pancaran yang diteruskan, terdapat diantara kedua lapisan. Karena lapisan GaP jernih, aliran secara langsung ke bawah dapat diserap. Dengan substrat GaP yang jernih, sebuah lapisan pemantulan menambah jumlah elektron yang ada di bawah untuk memperbaiki efisiensi.

2.6. Transistor Sebagai Saklar

Pemakaian transistor dalam teknik *switching* masih banyak dipakai. Untuk mengatur sebagai saklar on/off maka transistor dapat dioperasikan pada daerah kerja *saturasi* dan daerah *cut-off*. Agar transistor bekerja pada daerah *saturasi* dan daerah *cut-off* maka dapat dilakukan dengan mengatur arus pada kaki basis (I_b). Apabila diinginkan saklar *on/off* yang bergantian dengan periode tertentu maka dapat dilakukan dengan memberikan tegangan basis transistor (V_b) yang berupa tegangan *logic*. Gambar 2.5 menunjukkan rangkaian transistor sebagai saklar.



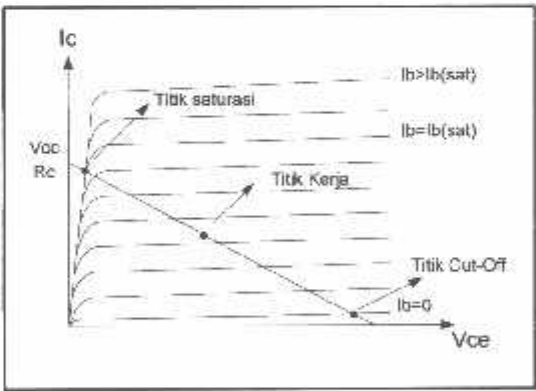
Gambar 2.5. Rangkaian Transistor sebagai Saklar ^[4]

Rangkaian diatas dapat dirumuskan sebagai berikut ^[4] :

$$I_C \text{ (sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} \dots\dots\dots (2-9)$$

$$I_B \text{ (sat)} = \frac{I_C}{\beta_{dc}} = \frac{V_{bb} - V_{be}}{R_b} \dots\dots\dots (2-10)$$

$$R_b = \frac{V_{bb} - V_{be}}{I_b} \dots\dots\dots (2-2)$$



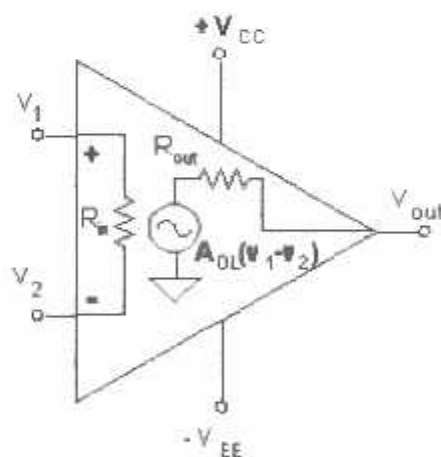
Gambar 2.6. Titik *Saturasi* dan Titik *Cut-Off* pada Garis Beban DC ^[4]

2.7. Penguat operasional

Pemakaian penguat operasional adalah untuk memperkuat sinyal dari sensor tanpa mempengaruhi ketelitian sensor, sebab impedansi masukannya sangat tinggi sehingga dapat dianggap tidak menyerap arus pada masukannya.

Penguat operasional dapat dibuat dengan menggunakan Op-Amp. Mutu penguat itu tergantung dari mutu Op-Amp yang digunakan. Selain itu ketetapan penguatan Op-Amp dipengaruhi oleh ketepatan dan mutu komponen pendukung yang digunakan.

Penguat operasional adalah penguat DC dengan penguatan tinggi yang dapat dipakai dari 0 sampai lebih dari 1 MHz. Apabila Op-Amp ini ditambah dengan rangkaian umpan balik (*feedback*) yang sesuai, maka dapat digunakan untuk bermacam-macam aplikasi seperti penguat sinyal AC maupun DC, *filter* aktif, *Oscillator* dan lain-lain.



Gambar 2.7. Operasional Amplifier (Op-Amp) ^[4]

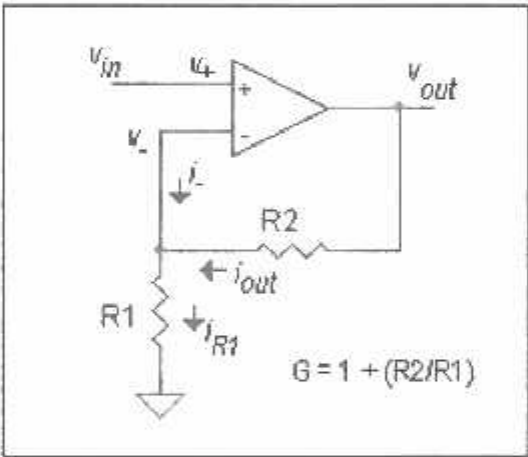
Pada Gambar 2.7 di atas menunjukkan bahwa Op-Amp mempunyai dua *input* yang berfungsi sebagai masukan pembalik dan masukan tak membalik.

2.7.1. Penguat tak membalik (*non inverting*)

Pada dasarnya semua Op-Amp yang dipakai dalam rangkaian penguat mempunyai prinsip kerja yang sama yaitu menguatkan sinyal masukan. Tegangan keluarannya V_{out} mempunyai polaritas yang sama dengan tegangan masukan V_{in} . Untuk mencari tegangan outputnya kita dapat gunakan rumus ^[4] :

$V_{out} = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) V_{in}$ (2-13)

berdasarkan rumus diatas, maka pada pemakaian rangkaian penguat *non inverting* polaritas dari masukan dan keluarannya adalah sama. Jadi apabila masukan kita beri tegangan positif maka keluaran akan berupa tegangan positif, begitu juga sebaliknya.



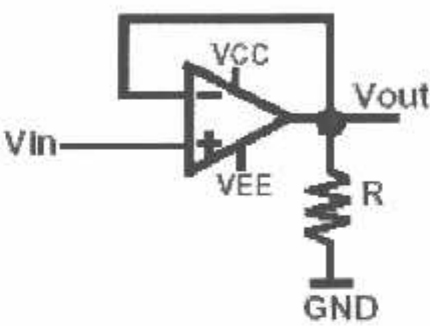
Gambar 2.8. Op-Amp *Non Inverting* dengan Tegangan *Input* Positif. ^[4]

2.7.2. Penyangga (*Buffer*)

Pada rangkaian penyangga tegangan masukan diumpankan ke kaki masukan tidak membalik sedangkan masukan membalik diumpankan pada keluaran. Op-Amp yang dirangkai menjadi rangkaian penyangga memiliki

tegangan keluaran yang sama dengan tegangan masukannya. Untuk mencari tegangan outputnya dapat gunakan rumus ^[4]:

$$V_{out} = V_{in} \dots\dots\dots (2-14)$$



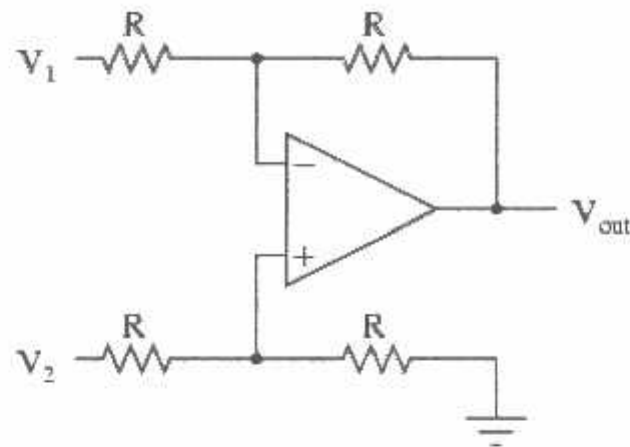
Gambar 2.9. Rangkaian *Buffer* ^[4]

2.7.3. Penguat Selisih (*diferensial*)

Op-amp yang dirangkai menjadi penguat selisih digunakan untuk mencari selisih tegangan antara masukan pembalik dengan masukan tidak membalik. Untuk mencari tegangan outputnya menggunakan rumus ^[4]:

$$V_{out} = \frac{R2}{R1} V_d \dots\dots\dots (2-15)$$

$$V_d = V_2 - V_1 \dots\dots\dots (2-16)$$



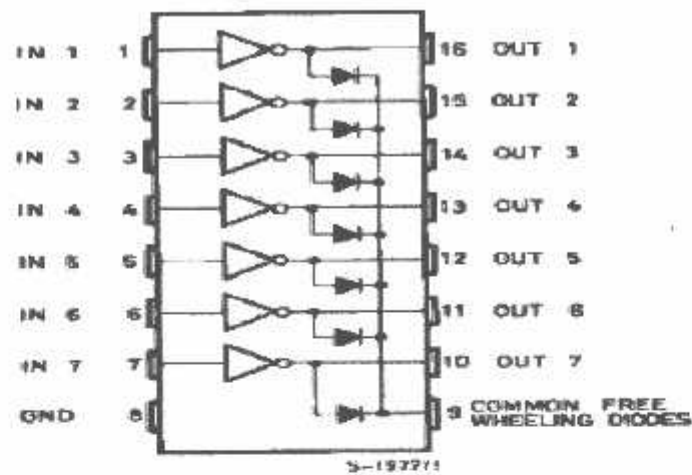
Gambar 2.10. Rangkaian Penguat Selisih ^[4]

2.8. IC ULN2004A

Pada IC ULN2004A di dalamnya terdapat rangkaian penguat Darlington. Untuk satu IC ULN2004A terdapat 7 pasang rangkaian Darlington NPN yang tersusun dalam rangkaian *common catoda*. Rangkaian Darlington ini digunakan sebagai saklar. Pada masing-masing rangkaian Darlington arus kolektornya sebesar 500 mA. Rangkaian Darlington yang ada di dalam IC ULN2004A dapat diparalel guna untuk kebutuhan arus yang besar.

Karenanya IC ini dapat diaplikasikan untuk *driver relay*, *driver lampu*, *driver display* dan *logic buffer*. Pada skripsi ini rangkaian Darlington yang ada pada IC ULN2004A digunakan sebagai *driver relay* yang digunakan untuk mengendalikan *relay*.

Adapun *pin-pin* koneksi yang ada dalam IC ULN2004A dapat dilihat pada gambar 2.11 berikut ini:



Gambar 2.11. *Pin-Pin Koneksi Dalam IC ULN2004A*^[2]

IC ULN2004A dapat terpicu dengan tegangan 5 Volt dan arus maksimum yang diperbolehkan sebesar 500 mA dengan suhu kerja dari -20°C sampai 70°C dengan data di atas maka IC ULN2004A mampu digunakan untuk menghidupkan dan mematikan *relay* yang memiliki tegangan maksimal sebesar 12 Volt.

2.9. Relay

Relay adalah komponen elektronika yang terdiri dari sebuah lilitan kawat (kumparan) yang terlilit pada sebuah inti besi lunak. Jika kumparan dialiri oleh arus listrik, maka inti besi akan timbul magnet listrik yang dapat memutuskan atau menghubungkan kontak. Jenis susunan kontak sebagai berikut :

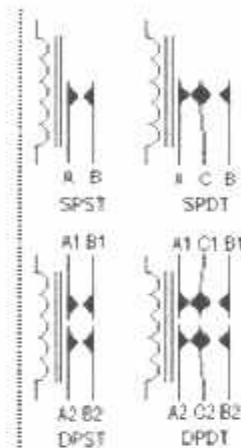
- *Normally Open* (Normal terbuka)

Yaitu kontak akan terhubung pada rangkaian saat kumparan *relay* dialiri arus listrik.

- *Normally Close* (Normal Tertutup)

Yaitu kontak tidak akan terhubung pada rangkaian saat kumparan *relay* dialiri arus listrik.

Sedangkan jenis *relay* berdasarkan cara dalam pengontakan dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2.12. Jenis *Relay*.^[6]

- *SPST (single pole single throw)*
Memiliki 1 kontak kerja dan 1 kontak diam.
- *SPDT (single pole double throw)*
Memiliki 1 kontak kerja dan 2 kontak diam.
- *DPST (double pole single throw)*
Memiliki 2 kontak kerja dan 1 kontak diam.
- *DPDT (double pole double throw)*
Memiliki 2 kontak kerja dan 2 kontak diam.

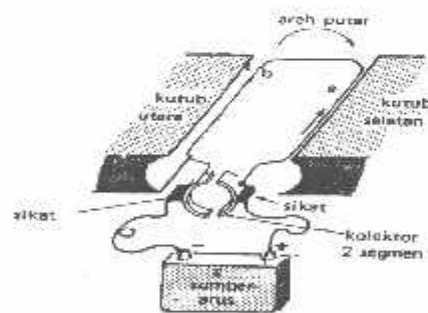
2.10. Motor DC

Motor Arus Searah (DC) adalah mesin yang berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Prinsip kerja motor DC didasarkan pada penghantar yang membawa arus ditempatkan dalam suatu medan magnet, maka penghantar tersebut akan mengalami gaya. Gaya menimbulkan torsi yang menghasilkan rotasi mekanik, sehingga motor akan berputar. Dalam sistematika kerjanya bisa disimpulkan sebagai berikut :

- Adanya garis-garis gaya medan magnet (*Fluk*) antara kutub yang berbeda di stator.
- Penghantar dialiri arus ditempatkan pada jangkar dalam medan magnet.
- Pada penghantar timbul gaya menghasilkan torsi.

2.10.1. Cara Kerja Motor DC

Adapaun cara kerja motor DC dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.13. Cara Kerja Motor DC ^[3]

Ada satu lilitan kawat A-B berada di dalam medan magnet. Lilitan ini dapat berputar dengan bebas, lilitan ini biasa disebut jangkar (*armour*). Pada jangkar dimasukan arus yang berasal dari sumber (Baterai) E. koneksi baterai dengan jangkar melalui sikat-sikat. Sikat-sikat ini terpasang pada sebuah cincin yang terbelah dua, yang disebut kolektir. Adapun tujuan dari konstruksi ini adalah agar lilitan kawat dapat berputar apabila ada arus listrik yang melewatinya.

Pada kawat yang berada di kanan arus mengalir dari depan ke belakang dalam kawat yang di kiri, arus mengalir dari belakang. kawat A dan B secara berganti-gantian berada di kiri dan kanan. Karena itu arah arus di A dan arah arus di B selalu membolak-balik. Pembalikan arah arus itu terjadi pada saat lilitan kawat melintasi posisi magnetik. disini kolektor berfungsi bagaikan penyearah mekanik.

Fluk magnet yang ditimbulkan magnet, magnetiknya disebut medan magnetnya motor. dalam gambar arah *fluk* magnetik adalah dari kiri ke kanan. Adapun gaya yang bekerja pada penghantar B adalah ke atas, sementara gaya yang bekerja pada penghantar A adalah ke bawah. Gaya-gaya yang bekerja sama kuatnya, jadi ada kopel yang bekerja pada kawat sehingga lilitan pun dapat berputar. Setelah berputar 90^0 arah arus berbalik, pada saat itu penghantar A dan penghantar B bertukar tempat. Akibatnya arah gerak putaran tidak berubah.

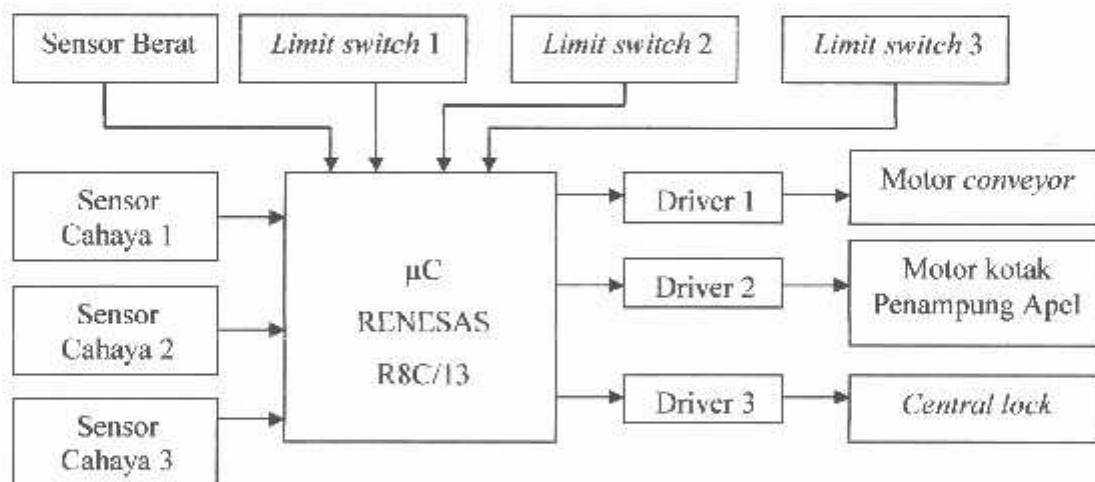
BAB III

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Pada bab ini akan membahas mengenai perancangan perangkat keras (*hardware*) maupun perangkat lunak (*software*) yang mendukung sistem kerja alat ini. Pembahasan dalam bab ini akan dilakukan perblok, dari blok diagram keseluruhan seperti ditunjukkan pada gambar 3.1 di bawah ini.

3.1. Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Diagram blok sistem penyeleksi apel berdasarkan ukuran dan berat menggunakan mikrokontroler Renesas R5F21134FP dapat dilihat dalam gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1. Diagram Blok Sistem

Fungsi masing – masing blok :

1. Sensor Berat.

Digunakan untuk mengukur berat apel.

2. Sensor Cahaya 1.

Digunakan untuk mendeteksi apel berukuran sedang.

3. Sensor Cahaya 2.

Digunakan untuk mendeteksi apel berukuran besar.

4. Sensor Cahaya 3.

Digunakan untuk mendeteksi keberadaan apel pada wadah pengukur berat.

4. Mikrokontroler Renesas R8C / 13.

Sebagai pengendali dan pengambil keputusan dari masing – masing kondisi.

5. Driver 1.

Sebagai penggerak motor untuk menjalankan *conveyor*.

6. Driver 2.

Sebagai penggerak motor untuk menjalankan kotak penampung apel.

7. Driver 3.

Sebagai penggerak *central lock*.

8. Motor *conveyor*.

Untuk menjalankan *conveyor*.

9. Motor kotak penampung apel.

untuk menjalankan kotak penampung apel.

10. *Central lock*.

Untuk menjatuhkan apel ke kotak penampungan.

11. *Limit switch 1*.

Untuk pendeteksi batas kotak penampungan apel golongan 1.

12. *Limit switch 2.*

Untuk pendeteksi batas kotak penampungan apel golongan 2.

13. *Limit switch 3.*

Untuk pendeteksi batas kotak penampungan apel golongan 3.

3.1.1. Rangkaian Sensor Cahaya

Sensor yang digunakan adalah LDR untuk mendeteksi apel dan mengetahui tinggi apel. LDR dirangkai dengan prinsip pembagi tegangan dan transistor digunakan sebagai saklar elektronik.

Transistor yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Tipe = C9013

$h_{FE} = 64$

Sedangkan data resistansi LDR yang diperoleh dari pengukuran didapat :

LDR mendapat cahaya = 562Ω

LDR tidak mendapat cahaya = $0,8 M\Omega$

maka R_c dapat diketahui :

$$R_c = \frac{V_{cc}}{I_c}$$

$$R_c = \frac{5}{500\mu}$$

$$R_c = 10K$$

Dengan perhitungan :

$$I_H = \frac{I_C}{h_{FE}}$$

$$I_H = \frac{500\mu}{64}$$

$$I_B = 7,8\mu A$$

Dengan pengukuran resistansi LDR pada saat mendapat sinar sebesar 562Ω , maka diketahui V_b sebesar :

$$V_b = \frac{R_{POT}}{R_{LDR} + R_{POT}} \times V_{CC}$$

$$V_b = \frac{92,6}{562 + 92,6} \times 5$$

$$V_b = 0,7073V$$

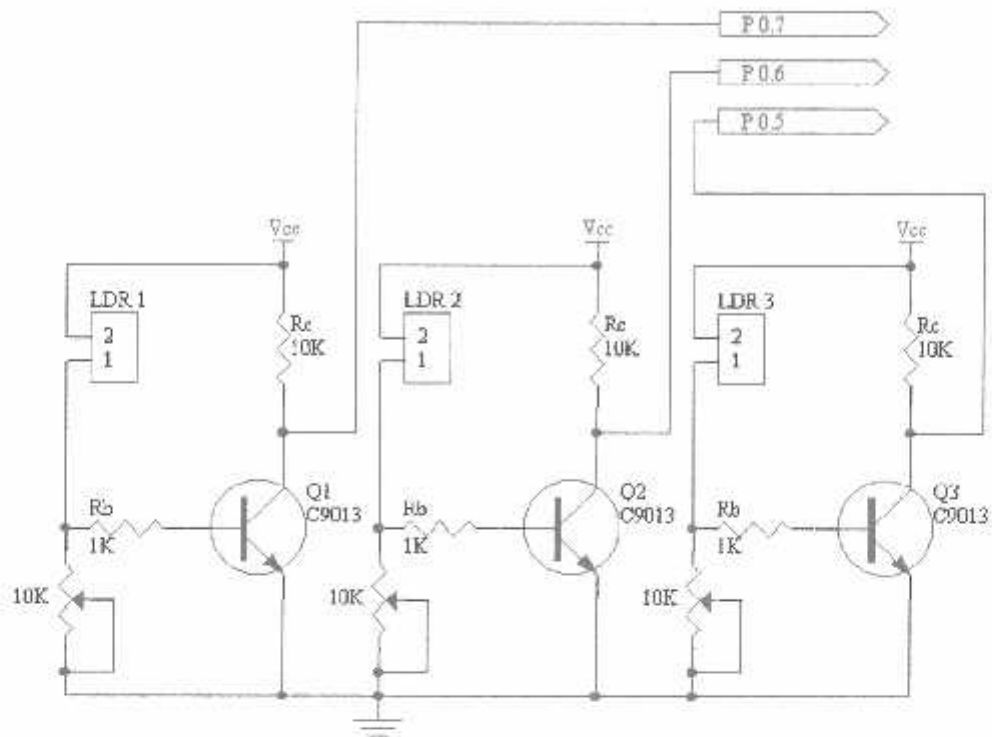
Pada saat $V_b = 0,7073$ Volt, maka R_b dapat dicari dengan rumus di bawah ini :

$$R_b = \frac{V_b - V_{be}}{I_b}$$

$$R_b = \frac{0,7073 - 0,7}{7,8\mu}$$

$$R_b = 936,17\Omega$$

$$R_b \approx 1K\Omega$$



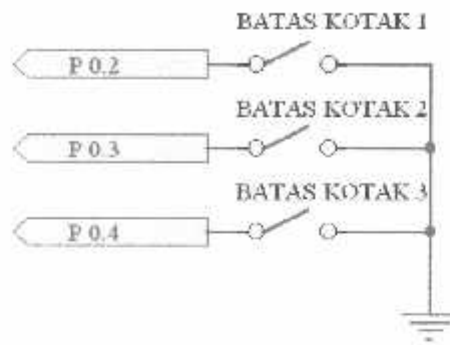
Gambar 3.2. Rangkaian LDR

3.1.2. *Limit Switch* Sebagai Sensor Posisi

Limit switch ini adalah suatu komponen manual. Komponen ini mempunyai dua posisi yaitu NO (*Normaly Open*) jika dalam posisi normalnya artinya tidak ada respon dari luar dia akan mempunyai kondisi terbuka (*Off*). Dan jika NC (*Normaly Close*) adalah dalam posisi normal dia akan berkondisi tertutup (*On*).

Sensor-sensor ini dalam perencanaan akan diletakkan pada batas-batas dari dimensi mekanik, sehingga gerakan motor yang menggerakkan kotak penampung apel dapat diketahui posisi kotak untuk masing – masing kualitas apel.

Dapat dilihat pada gambar di bawah ini, sensor yang digunakan terdiri dari komponen *limit switch*,



Gambar 3.3. Rangkaian *Limit Switch*

3.1.3. Rangkaian *Strain Gage*

Sensor *strain gage* digunakan untuk membedakan berat apel yang dirangkai dalam rangkaian jembatan. *Strain gage* dalam kondisi tidak mendapat tekanan bila diukur memiliki hambatan 120Ω . Maka dapat dihitung tegangan keluarannya sebagai berikut :

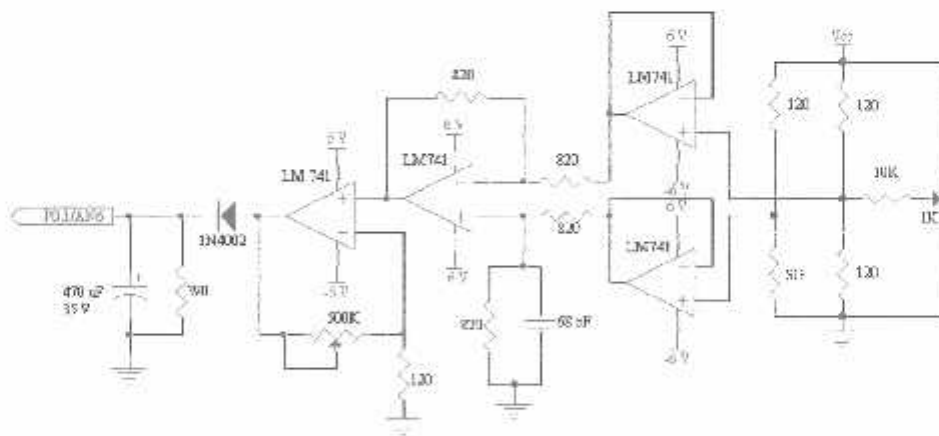
$$\begin{aligned}
 E_o &= \left[\frac{G1}{(G1 + R1)} - \frac{R3}{(R3 + R2)} \right] V_m \\
 &= \left[\frac{(G1.R1) - (R3.R2)}{(G1 + R1).(R3 + R2)} \right] V_m \\
 &= \left[\frac{(120 \times 120) - (120 \times 120)}{(120 + 120).(120 + 120)} \right] .5 \\
 &= 0 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

strain gage dalam kondisi mendapat tekanan dari apel yang terberat sebesar 200gr hambatannya sebesar $120,1\Omega$ maka dapat dihitung tegangan keluarannya sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 E_o &= \left[\frac{(G1.R1) - (R3.R2)}{(G1 + R1).(R3 + R2)} \right] V_{in} \\
 &= \left[\frac{(120,1 \times 120) - (120 \times 120)}{(120,1 + 120).(120 + 120)} \right] .5 \\
 &= 1,041 \text{ mV}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas, maka diketahui bahwa pada saat tidak ada beban $E_o = 0$ Volt, sedangkan pada saat beban maksimum $E_o = 1,041$ mV. Output dari rangkaian sensor berat berkisar antara 0 – 1,041 mV, sedangkan untuk ADC internal Mikrokontroler Renesas R8C/13 tegangan referensi yang digunakan adalah berkisar antara 0 – 5 V. Tegangan keluaran pada penguat instrumentasi :

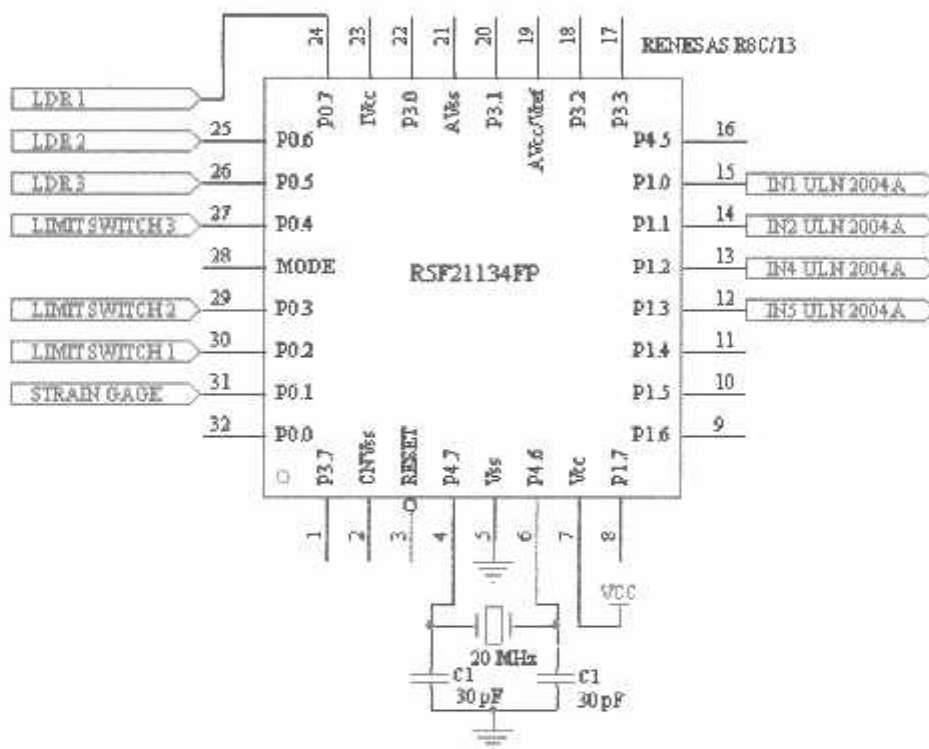
$$\begin{aligned}
 V_D &= E_2 - E_1 \\
 &= 1,041.10^{-3} \text{ V} \\
 V_O &= \left(\frac{500K}{120} + 1 \right) 1,041.10^{-3} \\
 &= 4,34 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$



Gambar 3.4. Rangkaian *Strain Gage*

3.1.4. Mikrokontroler Renesas R5F21134FP

Mikrokontroler digunakan sebagai penerima data masukan dari sensor-sensor, pengolah data, dan pemberi keputusan. Mikrokontroler Renesas R5F21134FP memiliki 32 *pin* dengan 22 *pin* I/O dan memiliki 12 ADC *internal*. Berikut ini adalah *pin* yang digunakan dalam pembuatan alat penyeleksi apel :



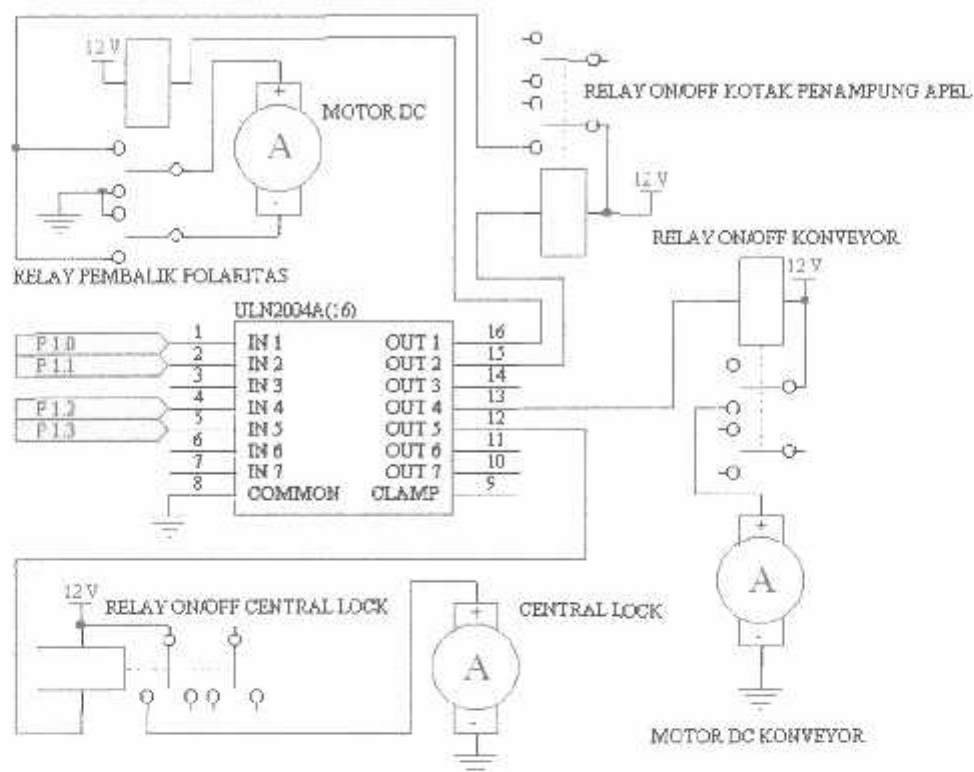
Gambar 3.5. Koneksi *Pin* Mikrokontroler R8C / 13

Tabel 3.1. *Pin-Pin* Yang Digunakan Dalam Pembuatan Alat

No	Nama <i>PIN</i>	I/O	Keterangan
1	P0.1/AN6	I	Merupakan masukan dari <i>Strain Gage</i>
2	P0.2/AN5	I	Merupakan masukan dari <i>limit switch</i> 1
3	P0.3/AN4	I	Merupakan masukan dari <i>limit switch</i> 2
4	P0.4/AN3	I	Merupakan masukan dari <i>limit switch</i> 3
5	P0.5/AN2	I	Merupakan masukan dari LDR 1
6	P0.6/AN1	I	Merupakan masukan dari LDR 2
7	P0.7/AN0	I	Merupakan masukan dari LDR 3
8	P1.0/K10/AN8	O	Merupakan keluaran ke IN1 ULN2004A
9	P1.1/K11/AN9	O	Merupakan keluaran ke IN2 ULN2004A
10	P1.2/K12/AN10	O	Merupakan keluaran ke IN4 ULN2004A
11	P1.3/K13/AN11	O	Merupakan keluaran ke IN5 ULN2004A

3.1.5. Driver Motor DC

Rangkaian ini berfungsi untuk menyambung dan memutuskan rangkaian yang ada diluar mikrokontroler, yaitu motor *conveyor*, motor kotak penampung apel, pembalik polaritas kotak penampung apel dan *central lock* digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3.6. Rangkaian Driver *Relay*

Meski IC ULN 2004A menggerakan 7 buah *relay*, IC ULN 2004A tetap dapat menggerakan *relay* dengan baik karena IC ULN 2004A mampu mengoperasikan sampai dengan arus 500mA.

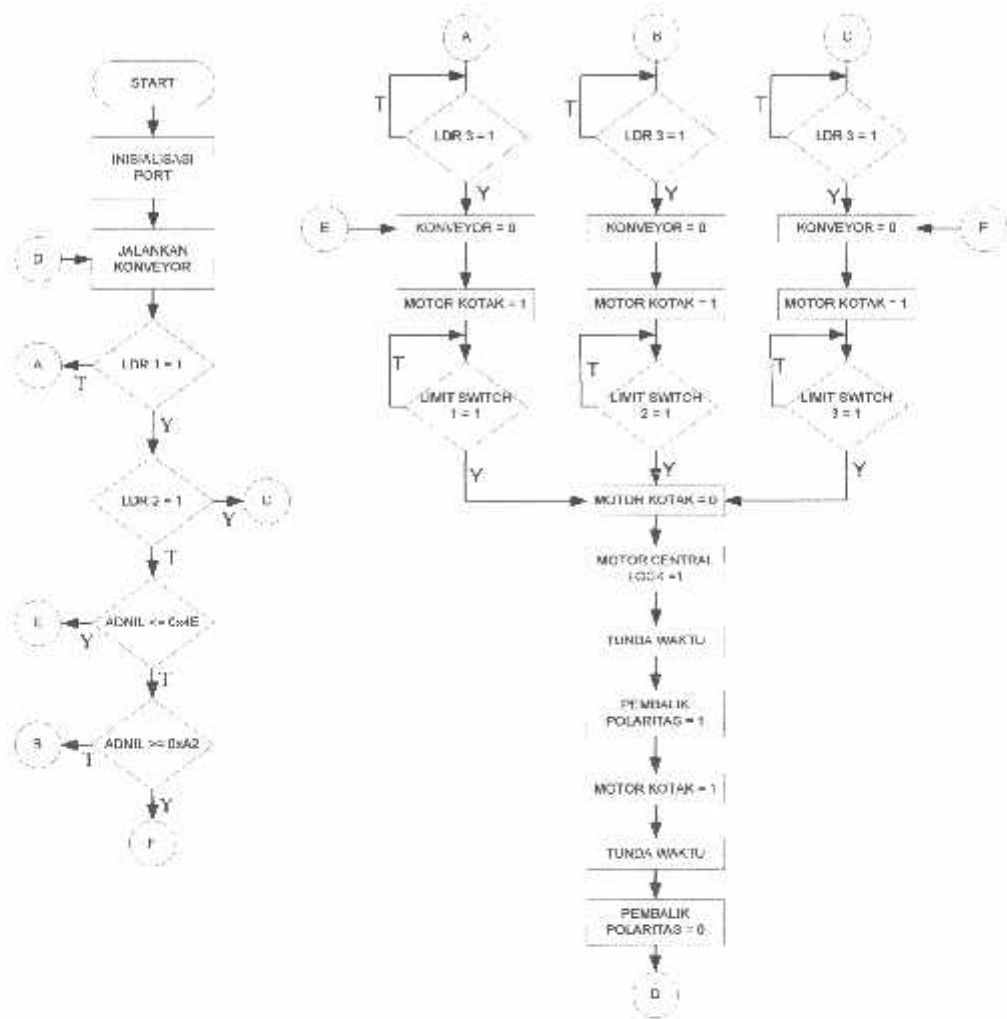
$$\begin{aligned}
 R_{\text{relay}} &= 400\Omega \\
 V &= 12 \text{ Volt} \\
 I &= \frac{V}{R_{\text{relay}}} \\
 &= \frac{12}{400} \\
 &= 30 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

3.2. Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Untuk mendukung agar perangkat keras berfungsi sesuai dengan perencanaan, maka diperlukan perangkat lunak sebagai penunjangnya. Sistem aplikasi mikrokontroler R8C/13 ini dapat mengatur dan mengendalikan keseluruhan sistem apabila ada urutan instruksi yang mendefinisikan secara jelas urutan tugas yang harus dikerjakannya .

Urutan instruksi ini sangat penting untuk didefinisikan, karena mikrokontroler bekerja secara pasti berdasarkan urutan insruksi ini. Susunan logika perancangan yang salah tidak dapat diketahui oleh mikrokontroler. Selama instruksi yang diterima sesuai dengan aturannya, mikrokontroler tetap mengerjakan instruksi tersebut. Kesalahan seperti ini baru diketahui ketika kerja sistem aplikasi tidak sesuai dengan spesifikasi awal. Oleh karena itu, perancangan perangkat lunak sangat menentukan dalam keberhasilan pembuatan perangkat lunak, sama pentingnya dengan perancangan perangkat keras. Perangkat lunak yang digunakan adalah Bahasa C dan *software downloader* yang digunakan adalah HRS 8000 ver.281106.

Flowchart Program :



Gambar 3.7. Flow Chart Program

BAB IV

PENGUJIAN ALAT

4.1. Pendahuluan

Untuk mengetahui keberhasilan dari perencanaan dan pembuatan alat ini maka diperlukan pengujian terhadap alat tersebut. Dalam rangka pengujian diuraikan sejumlah pengukuran dan penghitungan melalui percobaan yang dilakukan untuk mengetahui sistem kerja dari alat ini secara keseluruhan.

4.2. Pengujian Rangkaian Sensor

4.2.1. Tujuan

Tujuan dari pengujian rangkaian sensor adalah untuk mengetahui tingkat keberhasilan dalam perencanaan dan perancangan alat.

4.2.1.1. Rangkaian Sensor Cahaya

- Peralatan yang digunakan

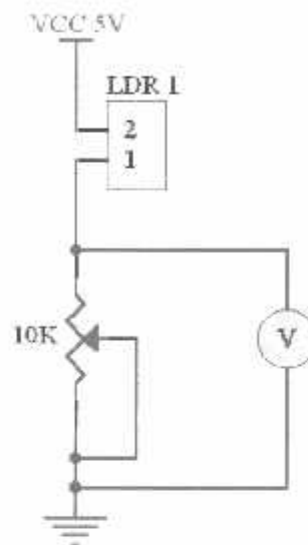
1. Multimeter Digital
2. Tegangan 5 Volt

- Prosedur pengujian

Prosedur pengujian rangkaian LDR sebagai pengukur ketinggian adalah sebagai berikut :

1. Membuat rangkaian pengujian LDR seperti gambar 4.1.
2. Sumber tegangan DC diaktifkan.

3. Mencatat nilai tegangan yang tertera pada multimeter.



Gambar 4.1. Rangkaian Pengujian LDR

Dengan perhitungan :

Pada saat terkena cahaya, tetapi tidak terhalang apel resistansi LDR sebesar $562\ \Omega$

dan $R_{pot} = 92,6\ \Omega$, maka tegangan V_b sebesar :

$$V_b = \frac{R_{pot}}{R_{LDR} + R_{pot}} \times V_{cc}$$

$$V_b = \frac{92,6}{562 + 92,6} \times 5$$

$$V_b = 0,7073V$$

Pada saat terkena cahaya, terhalang apel resistansi LDR sebesar $0,8\ M\Omega$ dan R_{pot}

$= 92,6\ \Omega$, maka tegangan V_b sebesar :

$$Vb = \frac{R_{pot}}{R_{pot} + R_{LDR}} \times 5$$

$$Vb = \frac{92,6}{92,6 + 0,8M} \times 5$$

$$Vb = 0,578mV$$

- Hasil Pengujian

Tabel 4.1. Hasil Pengujian LDR.

Kondisi	Tegangan Vb (Volt)		Error (%)	Resistansi (Ω)
	Perhitungan	Pengukuran		
Tidak terhalang	0,707	0,697	1,41	562
Terhalang	0,578 m	0,563m	2,59	0,8 M

4.2.1.2. Limit Switch Sebagai Sensor Posisi

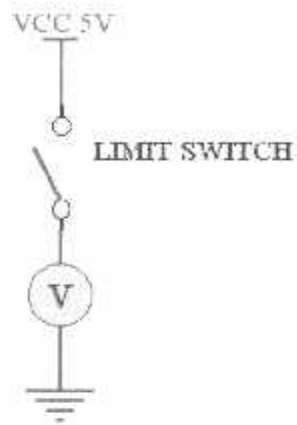
- Peralatan yang digunakan :

1. Multimeter Digital
2. Tegangan 5 Volt

- Prosedur pengujian

Prosedur pengujian *limit switch* sebagai sensor posisi adalah sebagai berikut :

1. Membuat rangkaian pengujian *limit switch* seperti gambar 4.2.
2. Sumber tegangan DC diaktifkan.
3. Mencatat nilai tegangan yang tertera pada multimeter.



Gambar 4.2. Rangkaian Pengujian *limit switch*

Tabel 4.2. Hasil Pengujian *Limit Switch*

Vcc (Volt)	Kondisi Kontak Kerja	$V_{Limit\ Switch}$ (Volt)
5	Terhubung	5
5	Tidak Terhubung	0

4.2.1.3. Rangkaian *Strain Gage*

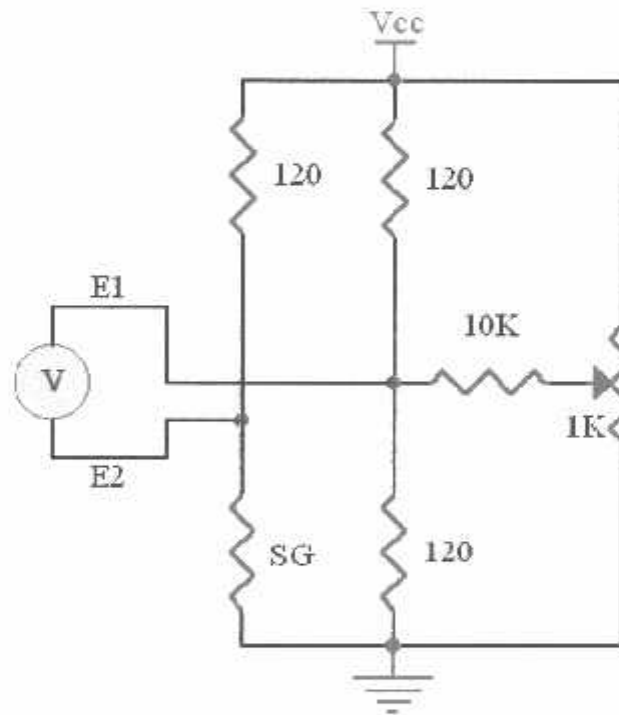
- Peralatan yang digunakan :

1. Multimeter Digital.
2. Tegangan 5 volt.
3. Tegangan +6 volt dan -6 volt.

- Prosedur pengujian

Prosedur pengujian rangkaian *strain gage* adalah sebagai berikut :

1. Membuat rangkaian pengujian rangkaian *strain gage* seperti gambar 4.3.
2. Sumber tegangan DC diaktifkan.
3. Mencatat nilai tegangan yang tertera pada multimeter tanpa memberikan tekanan pada *strain gage*.
4. Mencatat nilai tegangan yang tertera pada multimeter dengan memberikan tekanan pada *strain gage*.



Gambar 4.3. Rangkaian Pengujian *Strain Gage*

Dari hasil pengujian maka didapatkan data seperti yang terlihat pada tabel berikut ini :

$$V_{out} = \left[\frac{G_1.R_2 - R_1.R_2}{(G_1 + R_1)(R_3.R_2)} \right] V_{CC}$$

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Rangkaian *Strain Gage*

Beban (gr)	SG (Ω)	Output <i>Strain Gage</i> (mV)		Error (%)
		Perhitungan	Pengukuran	
50	120.004	0.094	0.089	5.319
58	120.009	0.156	0.148	5.128
60	120.015	0.219	0.205	6.393
78	120.021	0.281	0.268	4.626
80	120.027	0.344	0.328	4.651
91	120.033	0.375	0.354	5.600
96	120.036	0.417	0.394	5.516
100	120.040	0.458	0.435	5.022
105	120.044	0.489	0.466	4.703
110	120.047	0.531	0.511	3.766
115	120.051	0.583	0.560	3.945
120	120.056	0.625	0.596	4.640
126	120.060	0.687	0.655	4.658
136	120.066	0.739	0.699	5.413
146	120.071	0.781	0.745	4.609

158	120.075	0.833	0.795	4.562
160	120.080	0.864	0.812	6.019
164	120.083	0.906	0.856	5.519
186	120.087	0.979	0.920	6.027
200	120.094	1.041	0.985	5.379

$$Error = \frac{(| Hasil Perhitungan - Hasil Pengukuran |)}{Hasil Perhitungan} \times 100 \%$$

$$Kesalahan Relatif = \frac{\sum Error}{Banyaknya Percobaan} \%$$

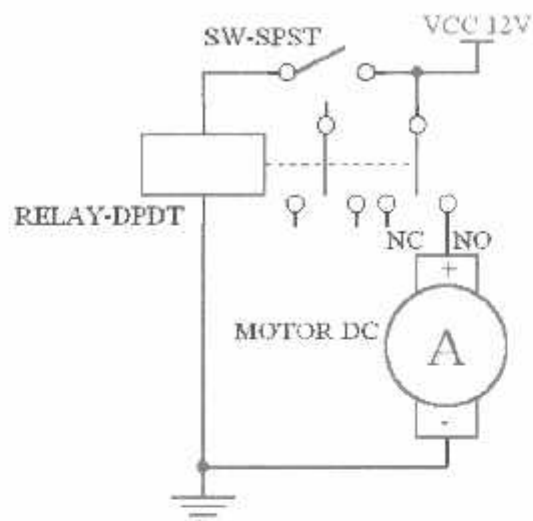
$$\begin{aligned}
 Kesalahan Relatif &= \frac{101,495}{20} \% \\
 &= 5,075 \%
 \end{aligned}$$

4.3. Pengujian *Relay* Penggerak Motor

4.3.1. Tujuan

Tujuan dari pengujian *relay* penggerak motor adalah untuk mengetahui apakah *relay* dapat berfungsi dengan baik dan dapat digunakan pada pembuatan sistem.

- Peralatan yang digunakan :
 1. Catu daya 12 volt.
 2. *Relay* DPDT.
 3. Motor DC.
 4. *Switch* SPST.



Gambar 4.4. Rangkaian Pengujian *Relay*

- **Prosedur pengujian**

Prosedur pengujian rangkaian *relay* sebagai penggerak motor adalah sebagai berikut :

1. Membuat rangkaian pengujian *relay* seperti gambar 4.3.
2. Sumber tegangan DC diaktifkan.
3. Mengamati apa yang terjadi pada motor.

- **Hasil Pengujian :**

Tabel 4.3. Hasil Pengujian untuk Mengetahui Respon *Driver Relay*

Vcc (Volt)	Switch	Relay	Kondisi Motor DC	Tegangan Motor DC (volt)
12	On	Aktif	On	12
12	Off	Mati	Off	0

4.4. Pengujian Keseluruhan Alat

4.4.1. Tujuan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah alat sudah bekerja sesuai dengan yang telah direncanakan.

- Peralatan yang digunakan :
 1. Apel.
 2. Alat penyeleksi apel.
- Langkah pengujian :
 1. Merangkai alat sesuai dengan perancangan.
 2. Meletakkan apel pada *conveyor*.
 3. Menghubungkan catu daya ke rangkaian keseluruhan.
- Analisis pengujian :
 1. Pada saat sensor pendeteksi apel terhalang oleh apel maka *conveyor* akan berhenti dan motor penampung apel bergerak.
 2. Pada saat sensor posisi aktif motor penampung apel berhenti dan apel akan dibuang ke kotak penampung apel.
 3. Kotak penampung apel bergerak ke posisi semula.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian serta penganalisaan selama proses pembuatan alat, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- 1 Pada saat cahaya yang menuju LDR tidak terhalang apel maka transistor aktif sehingga memberikan logika *low* pada mikrokontroler. Sedangkan pada saat cahaya yang menuju LDR terhalang apel maka transistor tidak aktif sehingga memberikan logika *high* pada mikrokontroler.
- 2 Untuk bisa mengukur ketinggian apel dan mendeteksi keberadaan apel pada wadah pengukuran berat digunakan LDR. Pada LDR terhalang apel memiliki *error* sebesar 1,41 %, pada saat LDR tidak terhalang apel memiliki *error* sebesar 2,59 %.
- 3 Tegangan keluaran rangkaian *strain gage* saat tidak mendapat tekanan sebesar 0 volt sedangkan pada saat mendapat tekanan apel terberat sebesar 200gr tegangan keluaran sebesar 1,041 mV.
- 4 Pada pengujian rangkaian *strain gage* didapat kesalahan rata – rata sebesar 5,075 %.

5.2. Saran – saran

Dalam perencanaan dan pembuatan alat ini terdapat beberapa kekurangan-kekurangan, sehingga untuk mencapai hasil yang lebih sempurna perlu diberikan saran-saran sebagai berikut :

- Untuk dapat menampung apel yang telah terseleksi dalam jumlah besar diharapkan untuk memperbesar wadah penampung apel.
- Sistem akan bekerja dengan baik (stabil) jika menggunakan komponen-komponen yang berkualitas tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Data Sheet R8C/13 Group
- [2]. Data Sheet ULN 2004A
- [3]. Soetrisno Ramelan, "*Listrik dalam Praktek Jilid II*", PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1976.
- [4]. Wasito S, "*Vademekum Elektronika Edisi Kedua*", PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2001.
- [5]. www.omega.com
- [6]. www.wikipedia.com

*L
A
M
P
I
R
A
N*



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S - 1
KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA

LEMBAR PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil skripsi jurusan Teknik Elektro jenjang strata satu (S -1), yang diselenggarakan pada :

Hari : Jumat
Tanggal : 23 Maret 2007

Telah dilakukan perbaikan oleh :

Nama : HARIYANTO TUNGGUL PAWENANG
Nim : 01.17.049
Jurusan : Teknik Elektro S -1
Konsentrasi : Teknik Elektronika
Judul skripsi : **Perencanaan dan Pembuatan Alat Penyeleksi
Apel Berdasarkan Ukuran dan Berat Berbasis
Mikrokontroler Renesas R8C/13**

Perbaikan meliputi :

No .	Materi Perbaikan	keterangan	Paraf Penguji I	Paraf Penguji II
1.	Tampilkan hasil percobaan dengan foto	Harap dilampirkan		

Disetujui

Penguji I

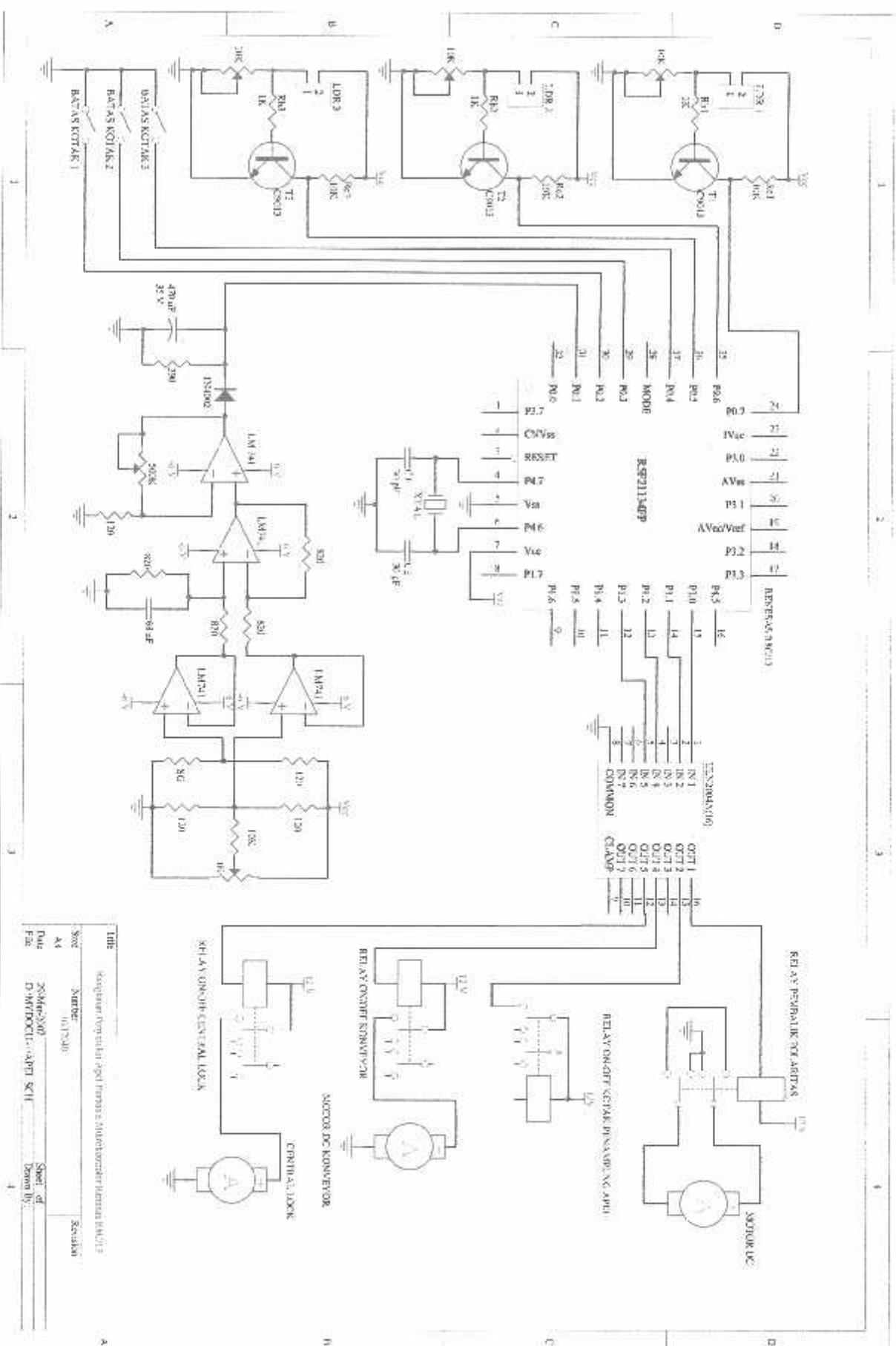
(Ir. Usman Djuanda, MM.)
NIP.Y. 1018700143

Penguji II

(Ir. Eko Nurcahyo)
NIP.Y. 1028700172

Mengetahui
Dosen Pembimbing

(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT)
NIP.Y. 1018800189



```

/*****
 * proto-type declaration
 *****/
#define Tombol0 p1_0
#define Tombol1 p1_1
#define Tombol2 p1_2
#define Tombol3 p1_3
#define Tombol4 p1_4
#define Tombol5 p1_5
#define Tombol6 p1_6
#define Tombol7 p1_7

#define Tombol0 p0_0
#define Tombol1 p0_1
#define Tombol2 p0_2
#define Tombol3 p0_3
#define Tombol4 p0_4
#define Tombol5 p0_5
#define Tombol6 p0_6
#define Tombol7 p0_7

void delay(long tunggu)
{
    while(tunggu--);
}

#include <stdio.h>
#include "sfr_r813.h"
/* Definition of the R8C/13 SFR */
#define SW_ON 0
#define SW_OFF 1
#define LOW 0
#define HIGH 1

* FILE : Main Acuan
*
* Haryanto Tunggul Pawenang
* 0117049
*
* DATE : Thu, Sep 22, 2005
*****/

```

```

/*****
 *      Function : main()
 *      program section
 *****/

void main()
{
    asm("FCLR I");
    prcr = 1;
    cm13 = 1;
    cm15 = 1;
    capacity select bit : HIGH */
    cm05 = 0;
    cm16 = 0;
    mode */
    cm17 = 0;
    cm06 = 0;
    asm("nop");
    asm("nop");
    asm("nop");
    asm("nop");
    ocd2 = 0;
    prcr = 0;
    p1 = 0x80;
    pd1 = 0x1f;
    p0 = 0x00;
    pd0 = 0x00;
    /*****
    */
}

while(1)
{
    if(Tombol5 == SW_OFF)
    {
        if(Tombol6 == SW_ON)
        {
            LED5 = 0;
            LED6 = 1;
            LED7 = 0;
        }
        else
        {
            if(Tombol6 == SW_OFF)
            {
                LED5 = 1;
                LED6 = 0;
                LED7 = 0;
            }
        }
    }
}

/****
 *      Main clock change */
/* Protect on */
/* CM16 and CM17 enable */
/* X-in on */
/* Main clock = No division
/* XCIN-XCOUNT drive
/* X-in X-out */
/* Protect off */
/* Interrupt disable */
*****/
```

```

    }
    if (Tombol7 == SW_OFF)
    {
        jalan();
    }
}
}

```

```

void jalan(void)
{
    if ( LED7 == SW_OFF )
    {

```

```

        if (Tombol2 == SW_ON)
        {
            LED0 = 0;
            LED1 = 1;
            LED2 = 0;
            LED3 = 0;
        }
        else

```

```

            if (Tombol2 == SW_OFF)
            {

```

```

                LED0 = 0;

```

```

                LED1 = 0;

```

```

                LED2 = 0;

```

```

                LED3 = 1;

```

```

                delay(500000);

```

```

                delay(500000);

```

```

                delay(50);

```

```

                LED3 = 0;

```

```

                delay(500000);

```

```

                LED0 = 1;

```

```

                LED1 = 1;

```

```

                LED2 = 0;

```

```

                LED3 = 0;

```

```

                delay(500000);

```

```

                delay(500000);

```

```

                delay(500000);

```

```

                delay(500000);

```

```

                delay(500000);

```

```

                LED0 = 0;

```

```

                LED1 = 0;

```

```

                LED4 = 0;

```

```

                LED5 = 0;

```

```

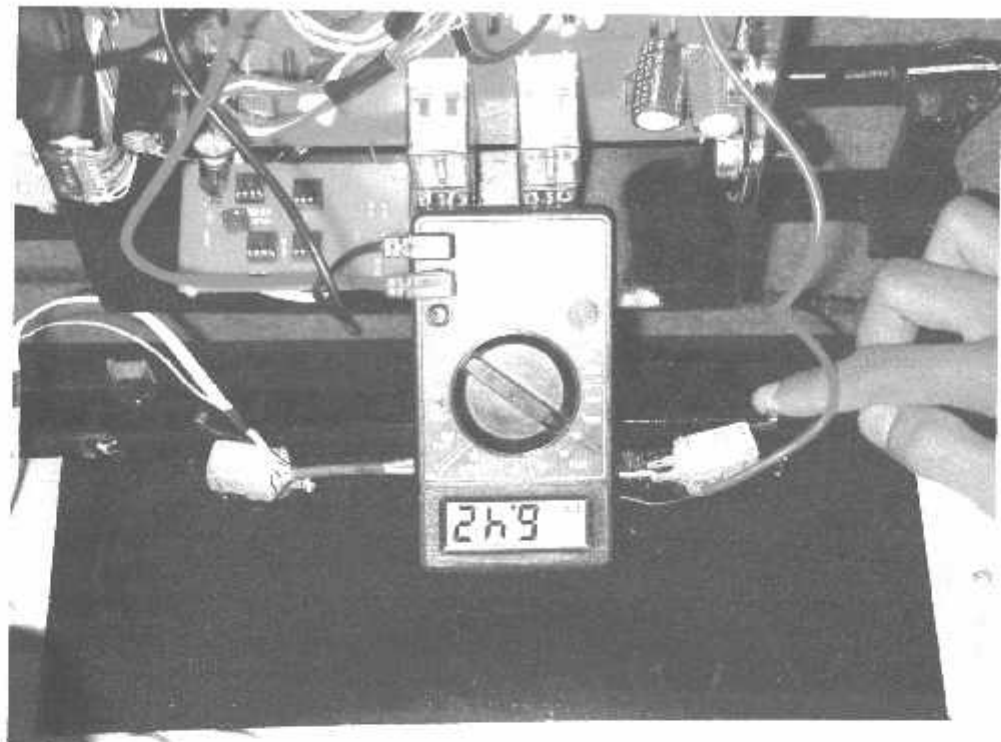
LED6 = 0 ;
LED7 = 1 ;
LED2 = 1 ;
delay(500000);
}
}
if ( LED6 == SW_OFF )
{
    if ( Tombol3 == SW_ON )
    {
        LED0 = 0 ;
        LED1 = 1 ;
        LED2 = 0 ;
        LED3 = 0 ;
        LED4 = 0 ;
    }
    else
    {
        if ( Tombol3 == SW_OFF )
        {
            LED0 = 0 ;
            LED1 = 0 ;
            LED2 = 0 ;
            LED3 = 1 ;
            delay(500000);
            LED3 = 0 ;
            delay(500);
            LED3 = 0 ;
            delay(500000);
            LED0 = 1 ;
            delay(500000);
            LED0 = 1 ;
            delay(500000);
            LED1 = 1 ;
            LED2 = 0 ;
            LED3 = 0 ;
            delay(500000);
            LED2 = 0 ;
            LED3 = 0 ;
            LED4 = 0 ;
        }
        else
        {
            if ( Tombol3 == SW_OFF )
            {
                LED0 = 0 ;
                LED1 = 0 ;
                LED2 = 0 ;
                LED3 = 0 ;
                LED4 = 0 ;
                LED5 = 0 ;
                LED6 = 0 ;
                LED7 = 0 ;
                delay(500000);
                LED0 = 0 ;
                LED1 = 0 ;
                LED2 = 0 ;
                LED3 = 0 ;
                LED4 = 0 ;
                LED5 = 0 ;
            }
            else
            {
                LED0 = 0 ;
                LED1 = 0 ;
                LED2 = 0 ;
                LED3 = 0 ;
                LED4 = 0 ;
                LED5 = 0 ;
                LED6 = 0 ;
                LED7 = 0 ;
                delay(500000);
                LED0 = 0 ;
                LED1 = 0 ;
                LED2 = 0 ;
                LED3 = 0 ;
                LED4 = 0 ;
                LED5 = 0 ;
            }
        }
    }
}

```

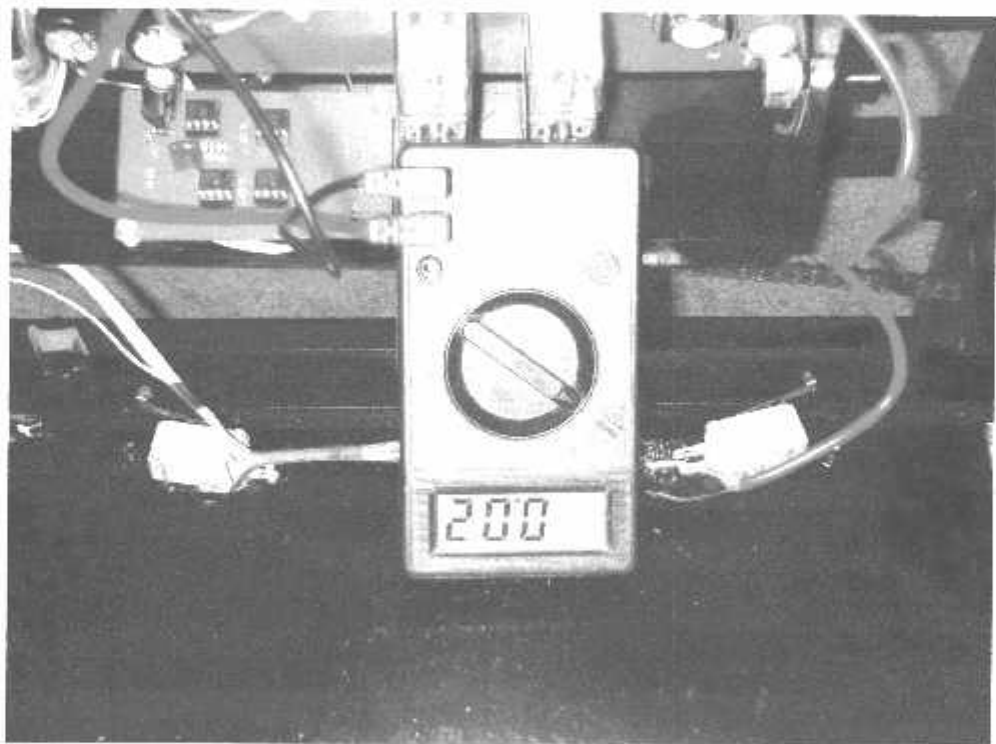
```
LED6 = 0;
LED7 = 1;
LED2 = 1;
delay(50000);
}
}
if (LEDS == SW_OFF)
{
    if (Tombol4 == SW_ON)
    {
        LED0 = 0;
        LED1 = 1;
        LED2 = 0;
        LED3 = 0;
        LED4 = 0;
    }
    else
    {
        if (Tombol4 == SW_OFF)
        {
            LED0 = 0;
            LED1 = 0;
            LED2 = 0;
            LED3 = 1;
            delay(50000);
            LED3 = 0;
            delay(500);
            LED3 = 0;
            delay(50000);
            LED0 = 1;
            LED1 = 1;
            delay(50000);
            LED3 = 0;
            delay(50000);
            LED0 = 1;
            LED1 = 1;
            delay(50000);
            LED2 = 0;
            LED3 = 0;
            delay(50000);
            LED2 = 0;
        }
    }
}
```

```
LED4 = 0 ;
LED5 = 0 ;
LED6 = 0 ;
LFD7 = 1 ;
LFD2 = 1 ;
delay(500000);
}
```

```
}
```



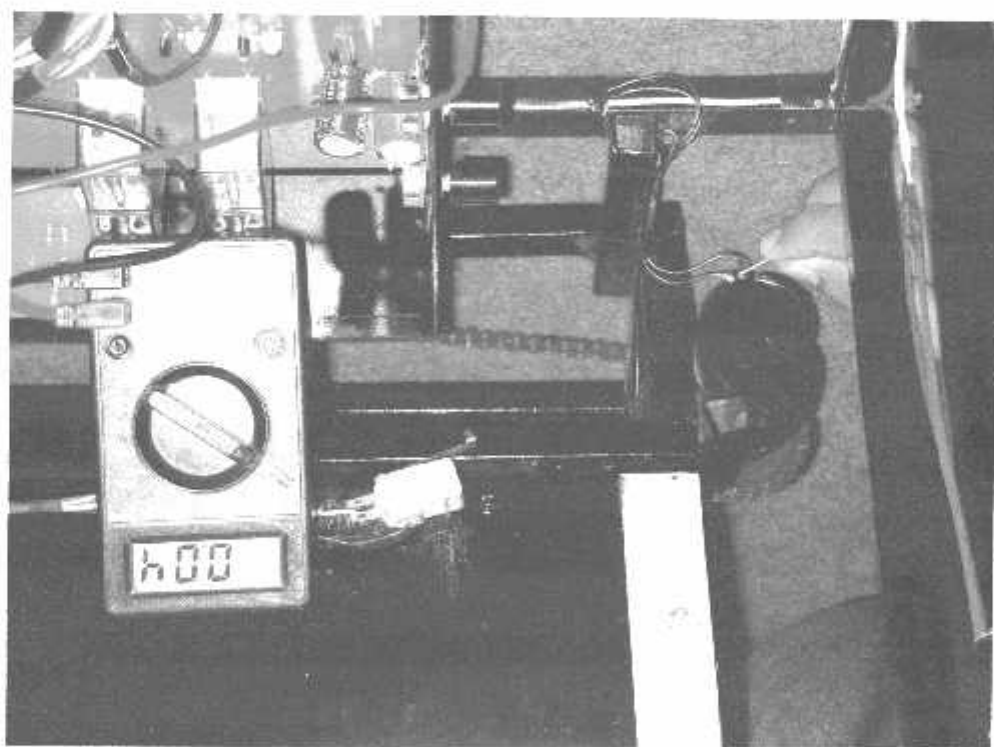
2. Gambar Limit Switch On



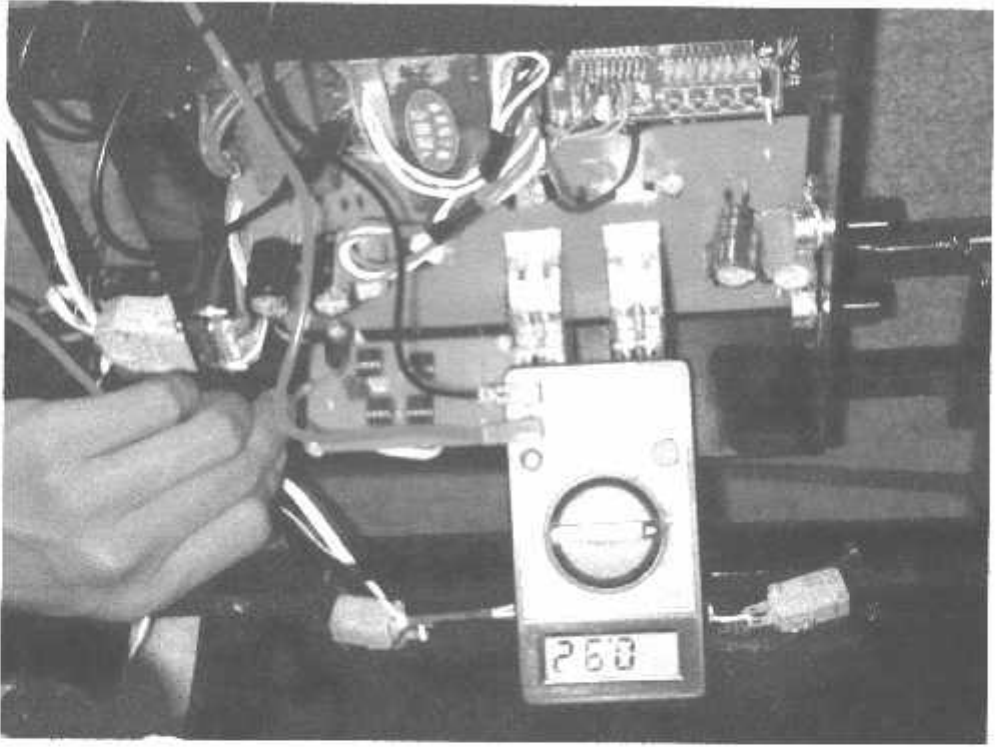
1. Gambar Limit Switch Off



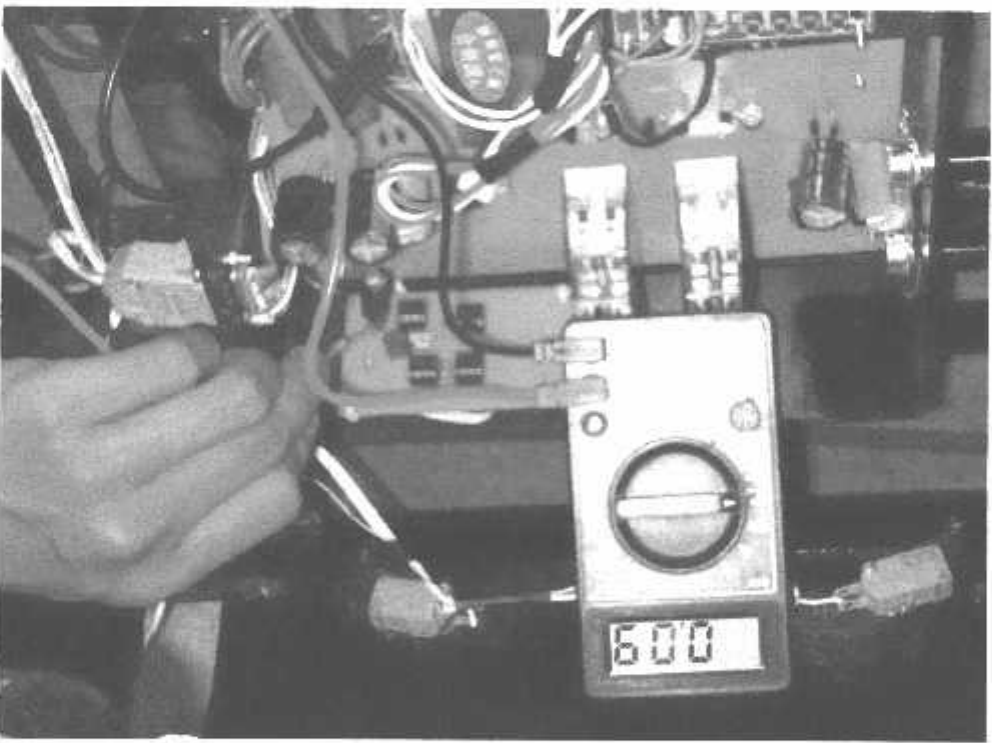
4. Motor DC On



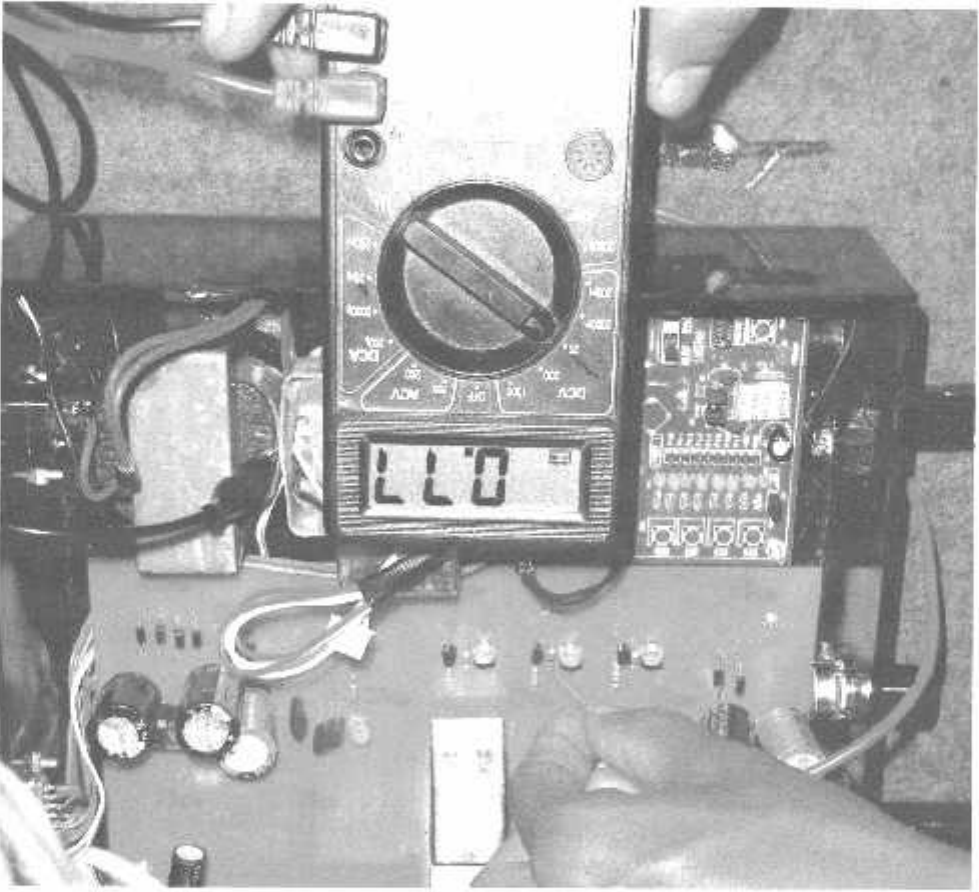
3. Motor DC Off



6. *Strain gage* Apel Berat



5. *Strain gage* Apel Ringan

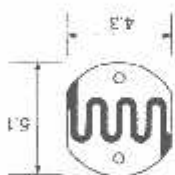
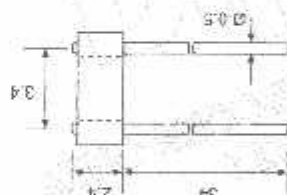


7. Transistor Aktif



FEATURES

- *Miniature open frame package.*
- *Epoxy coated.*
- *Moisture resistant.*
- *Spectral response similar to the human eye.*
- *Applications include dusk - dawn lighting control.*



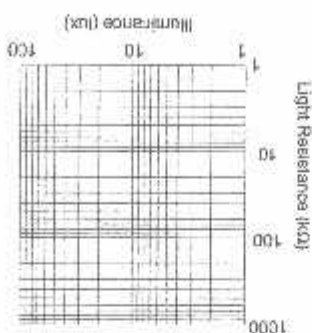
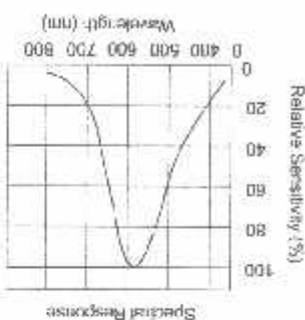
Dimensions in millimetres

SPECIFICATION AND PERFORMANCE

[illegible]

Measuring Conditions

1. Dark resistance: measured 10 seconds after pulsed 10 lux.
2. Dark resistance: measured at 10 lux with standard light A (2534k color temperature) and 2m pre-illumination at 400-650 lux prior to testing.
3. Gartner Chlorophyll fluorescence:
 - between 10 lux and 100 lux and given by:
 - $$T = \log \left(\frac{100}{100 + T_0} \right) - \log \left(\frac{100}{100 + T_{100}} \right)$$
 - The error of T is ±0.1.
4. Pmax: power dissipation at ambient temperature of 25 ± 1 °C.
5. Vmax: voltage in darkness (that may be applied to the cell continuously).





TO-92 PLASTIC-ENCAPSULATE TRANSISTORS

S9013 TRANSISTOR (NPN)

FEATURES

- Power dissipation P_{tot} : 0.625W (Tamb=25°C)
- Collector Current I_{Cmax} : 0.5A
- Collector-base voltage V_{CBmax} : -40V
- Operating and storage junction temperature range T_j, T_{stg} : -55°C to +150°C



- TO-92
- 1. EMITTER
- 2. BASE
- 3. COLLECTOR

Parameter	Symbol	Test Conditions	MIN	MAX	UNIT
Collector-base breakdown voltage	$V_{(BR)CB}$	$I_C = 100\mu A, I_E = 0$	45		V
Collector-emitter breakdown voltage	$V_{(BR)CE}$	$I_C = 0, I_E = 1mA, I_{CB} = 0$	25		V
Emitter-base breakdown voltage	$V_{(BR)EB}$	$I_E = 100\mu A, I_C = 0$	5		V
Collector cut-off current	I_{CEO}	$V_{CE} = 40V, I_E = 0$	0.1		μA
Collector cut-off current	I_{CBO}	$V_{CE} = 20V, I_E = 0$	0.1		μA
Emitter cut-off current	I_{EBO}	$V_{EB} = 5V, I_C = 0$	0.1		μA
DC current gain	M_{DC}	$V_{CE} = 1V, I_C = 50mA$	84		
Common-emitter saturation voltage	V_{CEsat}	$I_C = 500mA, I_E = 50mA$	0.6		V
Base-emitter saturation voltage	V_{BEsat}	$I_C = 500mA, I_E = 50mA$	1.2		V
Base-emitter voltage	V_{BE}	$I_C = 100mA$	1.8		V
Transition frequency	f_T	$V_{CE} = 5V, I_C = 20mA$ $f = 30MHz$	150		MHz

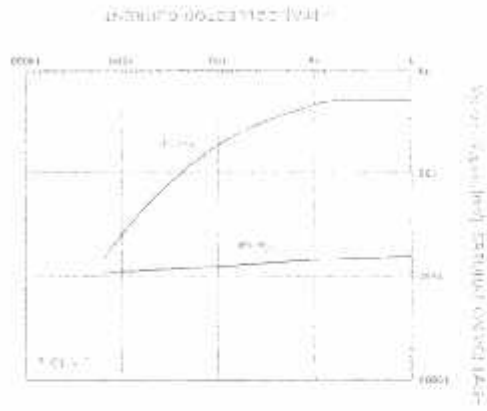
CLASSIFICATION OF PARTS

Rank	Range	Rank	Range	Rank	Range	Rank	Range
D	64-91	E	78-112	F	96-135	G	112-166
H	144-202	I	190-300				

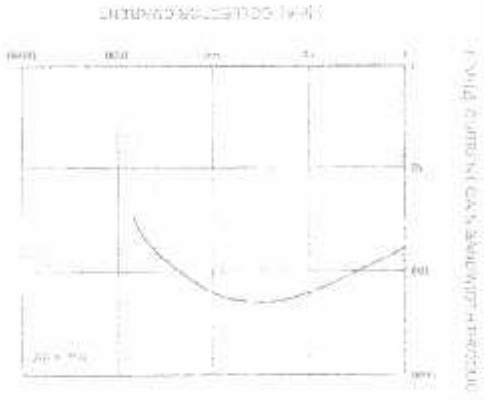


Rua Juquibá, 217 - Vila Antonieta - S.B.O. - Cep:09529-040 - SP - Brasil
Tel: (11) 4367-7411 - Fax: (11) 4367-7416 - www.volts.com.br - volts@volts.com.br

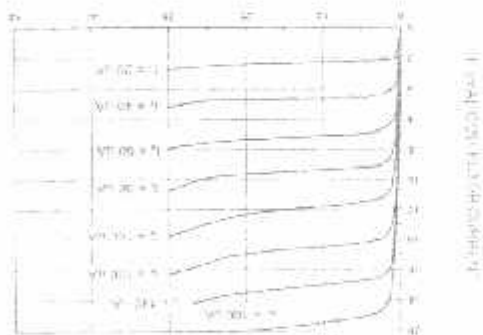
Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage



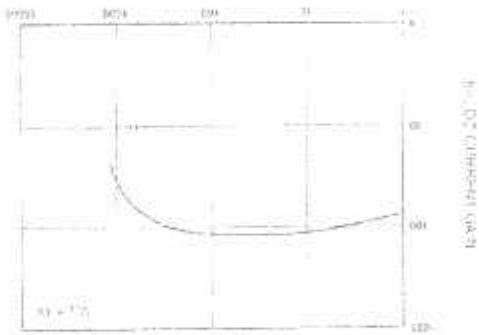
Current Gain Bandwidth Product



State Characteristic



DC current Gain



TYPICAL CHARACTERISTICS



TO-92 PLASTIC-ENCAPSULATE TRANSISTORS

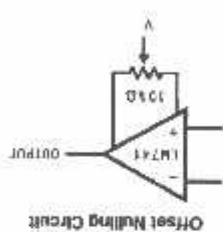
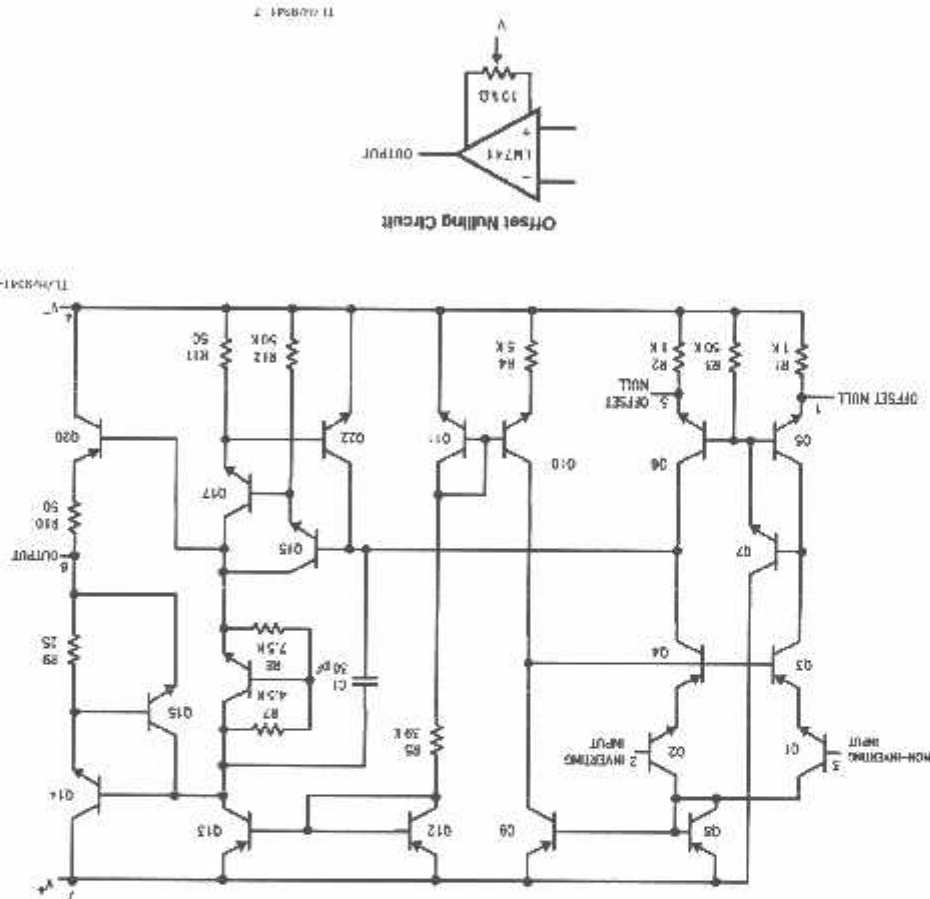
59013

LM741 Operational Amplifier

General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are circuit, pin-in-replacement for the 709C, LM201, MC1438 and 748 in most applications. The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations. The LM741C/LM741E are identical to the LM741/LM741A except that the LM741C/LM741E have their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range. Instead of 55°C to +125°C.

Schematic Diagram



LM741 Operational Amplifier

Electrical Characteristics (Note 3)									
Absolute Maximum Ratings									
<p>If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.</p> <p>(Note 5)</p>									
Supply Voltage	LM741A	LM741E	LM741C	LM741	LM741C	LM741	LM741C	LM741	LM741C
Power Dissipation (Note 1)	500 mW	500 mW	500 mW	500 mW	500 mW	500 mW	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	+30V	+30V	+30V	+30V	+30V	+30V	+30V	+30V	+30V
Input Voltage (Note 2)	±15V	±15V	±15V	±15V	±15V	±15V	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	0°C to +70°C	0°C to +70°C	-55°C to +125°C	-55°C to +125°C	-55°C to +125°C	-55°C to +125°C	-55°C to +125°C	-55°C to +125°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	65°C to +150°C	65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	100°C	100°C	150°C	150°C	150°C	150°C	150°C	150°C
Soldering Information									
N-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C	260°C	260°C	260°C	260°C	260°C	260°C
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C	300°C	300°C	300°C	300°C	300°C	300°C
M-Package									
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C	215°C	215°C	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C	215°C	215°C	215°C	215°C	215°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Proximal Reliability" for other methods of soldering									
ESD Tolerance (Note 6)	400V	400V	400V	400V	400V	400V	400V	400V	400V
Parameter									
Conditions									
Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Units
Input Offset Voltage									
$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$ $R_S \leq 50\Omega$ $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$ $R_S \leq 50\Omega$									
	0.5	3.0		1.0	5.0		2.0	6.0	mV
Average Input Offset Voltage Limit									
		15							$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Voltage Adjustment Range									
	± 10			± 15			± 15		mV
Input Offset Current									
$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$									
	3.0	30		20	200		20	200	nA
Average Input Offset Current Drift									
		0.5							nA/°C
Input Bias Current									
$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$									
	30	80		80	500		80	500	nA
Input Resistance									
	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0	M Ω
Input Voltage Range									
	0.6								M Ω
Input Voltage Range									
$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_S = +20\text{V}$ $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$									
							± 12		V
Large Signal Voltage Gain									
$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_S = +20\text{V}$ $V_O = +10\text{V}$ $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$									
	60			± 12	± 13				V/mV
$V_S = +20\text{V}$ $V_O = +15\text{V}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$									
	32								V/mV
$V_S = +15\text{V}$ $V_O = +10\text{V}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$									
	10								V/mV
$V_S = +15\text{V}$ $V_O = +10\text{V}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$									
									V/mV

Electrical Characteristics (Note 3) (Continued)

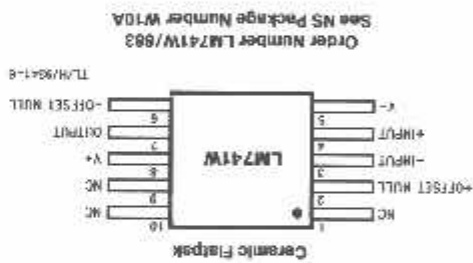
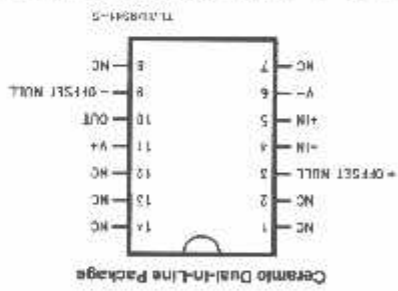
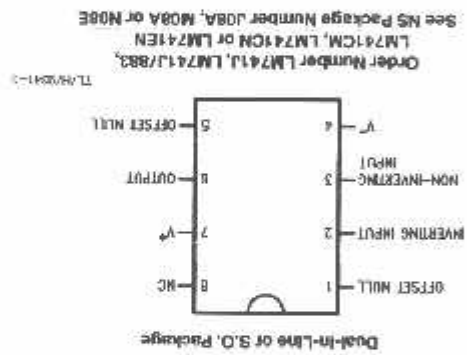
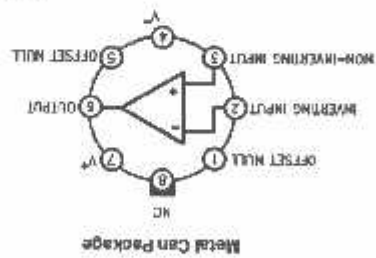
Parameter	Conditions	LM741A/LM741E				LM741				LM741C				Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20V$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_F \geq 2\text{ k}\Omega$	± 16				± 12	± 14	± 10	± 12	± 14				V
	$V_S = \pm 15V$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_F \geq 2\text{ k}\Omega$					± 10	± 13	± 10	± 12	± 14				V
Output Short-Circuit Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	10	25	95	40	25	25		25					mA
	Common-Mode Rejection Ratio $T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$ $R_S \leq 50\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$	80	95		70	90		70	90					dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $V_S = \pm 20V$ to $V_S = \pm 5V$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	86	98		77	96		77	96					dB
	Transient Response $T_A = 25^\circ\text{C}$, Unity Gain	0.25	0.8	20	0.9			0.3						ns
Bandwidth (Note 4)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.437	1.5											MHz
	Slew Rate $T_A = 25^\circ\text{C}$, Unity Gain	0.3	0.7		0.5			0.5						V/ μs
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$							1.7	2.8		1.7	2.8		mA
	Power Consumption	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_S = \pm 20V$ $V_S = \pm 15V$ $T_A = 25^\circ\text{C}$	80	150		50	65	50	65	50	85			mW
LM741A	$V_S = \pm 20V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			165	195									mW
	$V_S = \pm 20V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			150										mW
LM741E	$V_S = \pm 20V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			150										mW
	$V_S = \pm 15V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$													mW
LM741	$V_S = \pm 15V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$													mW
	$T_A = T_{AMAX}$													mW

Note 1: For operation at elevated temperatures, these devices must be derated based on thermal resistance and T_{max} (rated under "Absolute Maximum Ratings"). $I_T = I_A + I_{Q1} + I_{Q2}$

Thermal Resistance	Can (U)	DIP (M)	SO-8 (M)
θ_{JA} (junction to ambient)	100°C/W	100°C/W	100°C/W
θ_{JC} (junction to case)	N/A	N/A	N/A

Note 2: For supply voltages less than $\pm 15V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
Note 3: Unless otherwise specified, these specifications apply for $V_S = \pm 15V$, $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ (LM741C/LM741E). These specifications are limited to $\text{dV}/\text{d}t < 1\text{ V}/\mu\text{s}$ at $T_A \leq +70^\circ\text{C}$.
Note 4: Calculated value from $\text{BW} = 1/(2\pi R_F C_F) = 0.35/\text{rise time}(\mu\text{s})$.
Note 5: For military specifications see PETS741X for LM741 and PETS741AX for LM741A.
Note 6: For further body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

Connection Diagrams



*Also available per JMS8510/10121
**Also available per JMS8510/10121

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A
HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT DARLINGTON
TRANSISTOR ARRAY
SLHS027F - DECEMBER 1976 - REVISED FEBRUARY 2002

The ULN2001A is obsolete
and is no longer supplied.

500-mA-Rated Collector Current

(Single Output)

High-Voltage Outputs . . . 50 V

Output Clamp Diodes

Inputs Compatible With Various Types of

Logic

Relay-Driver Applications

Designed to Be Interchangeable With

Sprague ULN2001A Series

description/ordering information

The ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, and ULQ2004A are

high-voltage, high-current Darlington transistor arrays. Each consists of seven npn Darlington pairs that feature high-voltage outputs with common-cathode clamp diodes for switching inductive loads. The collector-current rating of a single Darlington pair is 500 mA. The Darlington pairs can be paralleled for higher current capability. Applications include relay drivers, hammer drivers, lamp drivers, display drivers (LED and gas discharge), line drivers, and logic buffers. For 100-V (otherwise interchangeable) versions of the ULN2003A and ULN2004A, see the SN75468 and SN75469, respectively.

ORDERING INFORMATION

TA	PACKAGE†	ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
-20°C to 70°C	PDP (N)	ULN2002AN	ULN2002AN
		ULN2003AN	ULN2003AN
		ULN2004AN	ULN2004AN
	SOIC (D)	ULN2003AD	ULN2003AD
		ULN2003ADR	ULN2003ADR
		ULN2004AD	ULN2004AD
-40°C to 85°C	SOP (NS)	ULN2003ANSR	ULN2003A
		ULN2004ANSR	ULN2004A
		ULN2004ADR	ULN2004A
	PDP (N)	Tube of 25	ULQ2003AN
		Tube of 40	ULQ2004AN
		Reel of 2500	ULQ2004ADR
-40°C to 85°C	SOIC (D)	Tube of 40	ULQ2003AD
		Reel of 2500	ULQ2003ADR
		Tube of 40	ULQ2004AD
	PDP (N)	Tube of 25	ULQ2003AN
		Tube of 40	ULQ2004AN
		Reel of 2500	ULQ2004ADR

†Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.

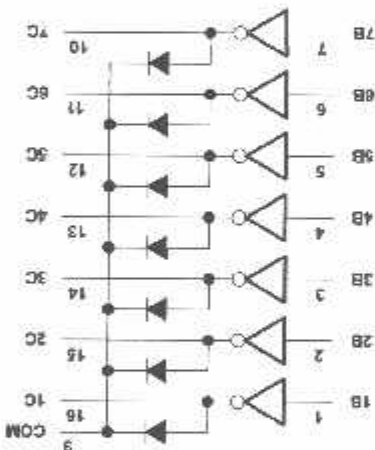
Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.



PRODUCTION DATA information is current as of publication date.
Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments
standard warranty. Production processing does not necessarily include
testing of all parameters.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265



logic diagram

The ULN2001A is a general-purpose array and can be used with TTL and CMOS technologies. The ULN2002A is designed specifically for use with 14-V to 25-V PMOS devices. Each input of this device has a Zener diode and resistor in series to control the input current to a safe limit. The ULN2003A and ULQ2003A have a 2.7-k Ω series base resistor for each Darlington pair for operation directly with TTL or 5-V CMOS devices. The ULN2004A and ULQ2004A have a 10.5-k Ω series base resistor to allow operation directly from CMOS devices that use supply voltages of 6 V to 15 V. The required input current of the ULN/ULQ2004A is below that of the ULN/ULQ2003A, and the required voltage is less than that required by the ULN2002A.

description/ordering information (continued)

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A
HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT DARLINGTON
TRANSISTOR ARRAY

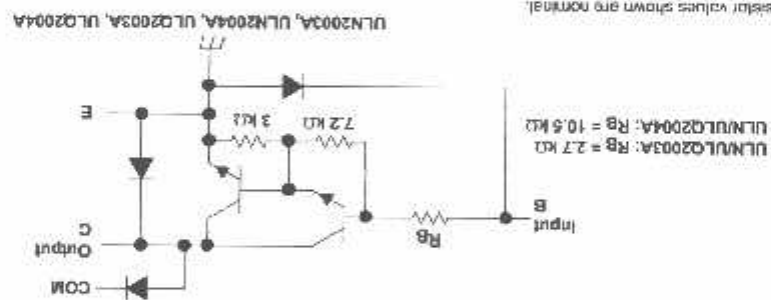
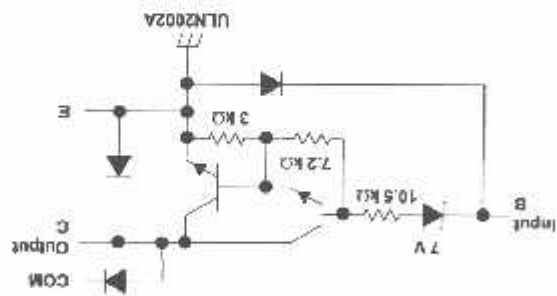
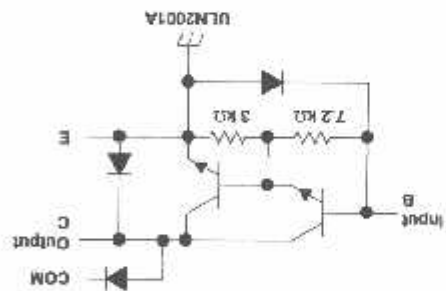
SLU2027F - DECEMBER 1976 - REVISED FEBRUARY 2003

The ULN2001A is obsolete
and is no longer supplied.

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A
 HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT DARLINGTON
 TRANSISTOR ARRAY
 SLR5027F – DECEMBER 1978 – REVISED FEBRUARY 2002

The ULN2001A is obsolete
 and is no longer supplied.

schematics (each Darlington pair)



All resistor values shown are nominal.

ULN/ULQ2003A: $R_8 = 2.7 \text{ k}\Omega$
 ULN/ULQ2004A: $R_8 = 10.5 \text{ k}\Omega$

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A
HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT DARLINGTON
TRANSISTOR ARRAY
SURS027F - DECEMBER 1976 - REVISED FEBRUARY 2003
The ULN2001A is obsolete
and is no longer supplied.

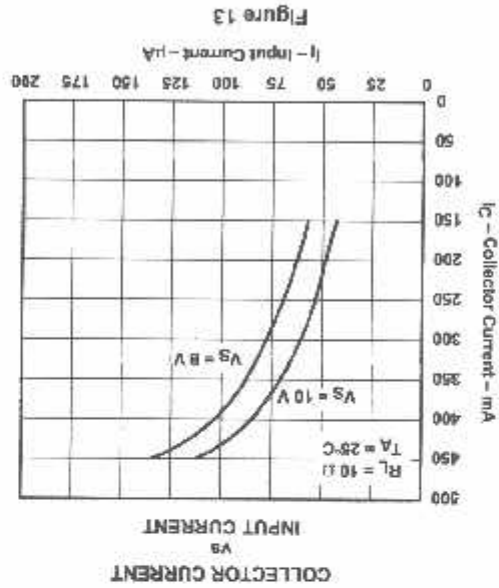
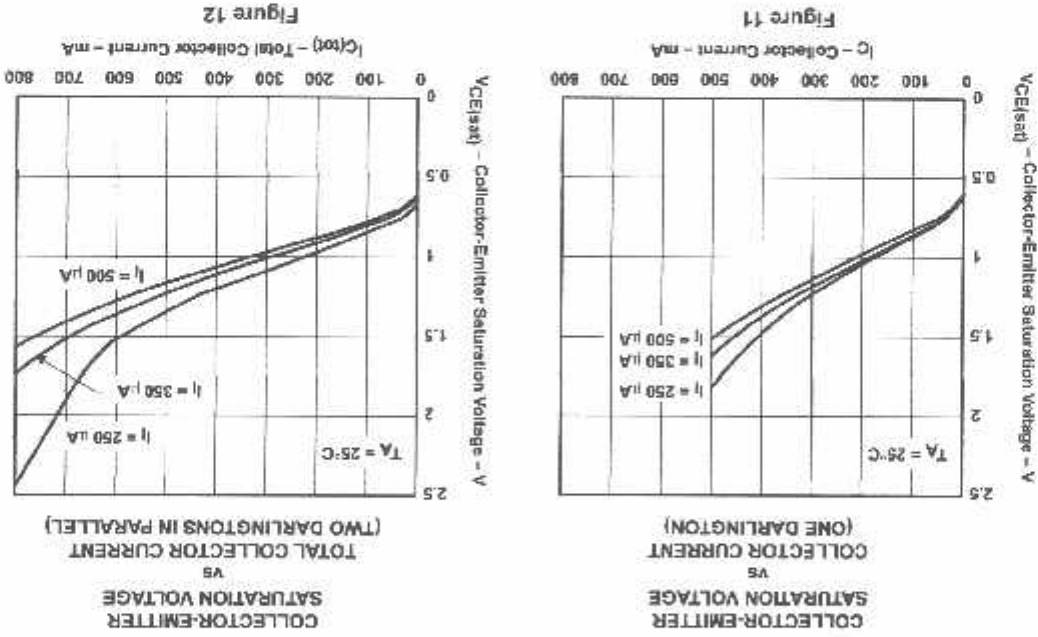
electrical characteristics, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted) (continued)

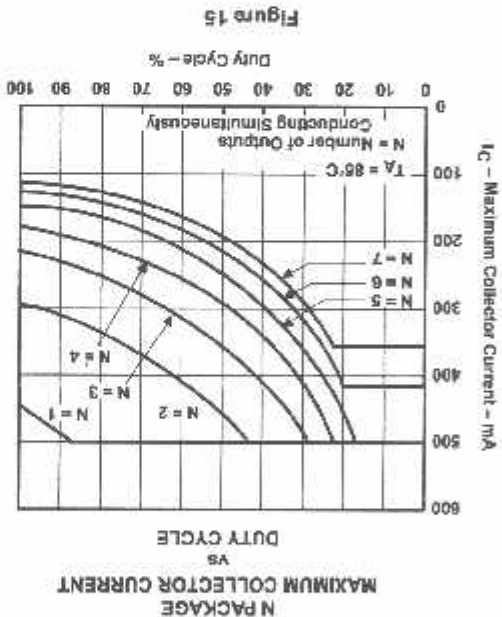
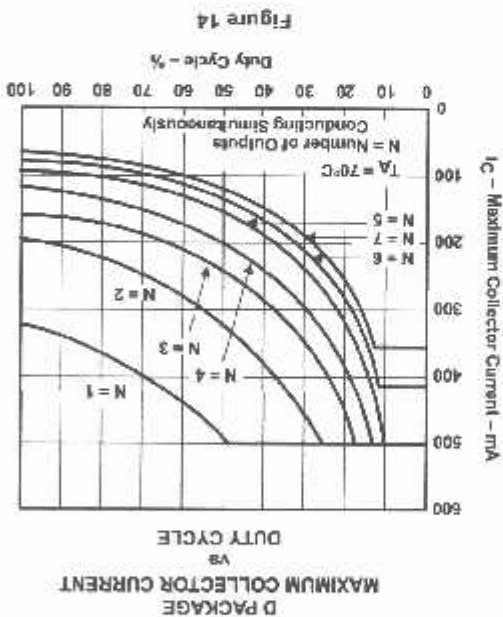
PARAMETER	TEST FIGURE	TEST CONDITIONS			UNIT	
		MIN	TYP	MAX	MIN	MAX
$V_{(on)}$ On-state input voltage	6	$V_{CE} = 2\text{ V}$	$I_C = 125\text{ mA}$			5
			$I_C = 200\text{ mA}$	2.4		6
			$I_C = 250\text{ mA}$	2.7		7
			$I_C = 300\text{ mA}$			
			$I_C = 350\text{ mA}$	3		
			$I_C = 360\text{ mA}$			8
$V_{CE(sat)}$ Collector-emitter saturation voltage	5	$I_C = 250\text{ }\mu\text{A}$	$I_E = 100\text{ mA}$	0.9	1.1	
			$I_C = 200\text{ mA}$	1	1.3	
			$I_C = 350\text{ }\mu\text{A}$	1.2	1.5	
I_{CEX} Collector cutoff current	4	$V_{CE} = 50\text{ V}$ $I_E = 0$ $T_A = 70^\circ\text{C}$	$I_C = 500\text{ }\mu\text{A}$			500
			$I_C = 200\text{ mA}$			100
			$I_C = 350\text{ }\mu\text{A}$			50
I_i Input current	4	$V_i = 3.85\text{ V}$ $V_i = 5\text{ V}$ $V_i = 12\text{ V}$ $V_R = 50\text{ V}$ $V_R = 50\text{ V}$ $T_A = 70^\circ\text{C}$		0.93	1.35	
						0.35
						1
I_R Clamp reverse current	7	$V_i = 0$ $V_R = 50\text{ V}$ $T_A = 70^\circ\text{C}$				50
						100
C_i Input capacitance		$V_i = 0$ $f = 1\text{ MHz}$				25

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A
HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT DARLINGTON
TRANSISTOR ARRAY
SLR3027F - DECEMBER 1976 - REVISED FEBRUARY 2003

The ULN2001A is obsolete
and is no longer supplied.

TYPICAL CHARACTERISTICS





THERMAL INFORMATION

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A
 HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT DARLINGTON
 TRANSISTOR ARRAY
 SLR9027F – DECEMBER 1976 – REVISED FEBRUARY 2003
 The ULN2001A is obsolete
 and is no longer supplied.

1. Overview

This MCU is built using the high-performance silicon gate CMOS process using a R8C/Tiny Series CPU core and is packaged in a 32-pin plastic molded LQFP. This MCU operates using sophisticated instructions featuring a high level of instruction efficiency. With 1M bytes of address space, it is capable of executing instructions at high speed.

The data flash ROM (2 KB X 2 blocks) is embedded.

1.1 Applications

Electric household appliance, office equipment, housing equipment (sensor, security), general industrial equipment, audio, etc.

1.2 Performance Outline

Table 1.1 lists the performance outline of this MCU.

Table 1.1 Performance outline

CPU		Peripheral function		Performance		
Item	Number of basic instructions	89 instructions				
	Shortest instruction execution time	50 ns (f(Xin) = 20 MHz, VCC = 3.0 to 5.5 V) 100 ns (f(Xin) = 10 MHz, VCC = 2.7 to 5.5 V)				
	Operating mode	Single-chip				
	Address space	1M bytes				
	Memory capacity	See Table 1.2.				
	Interrupt	Internal: 11 factors, External: 5 factors, Software: 4 factors, Priority level: 7 levels				
	Watchdog timer	15 bits x 1 (with prescaler) Reset start function selectable				
	Timer	Timer X: 8 bits x 1 channel, Timer Y: 8 bits x 1 channel, Timer Z: 8 bits x 1 channel (Each timer equipped with 8-bit prescaler) Timer C: 16 bits x 1 channel Circuits of input capture and output compare.				
	Serial interface	• 1 channel Clock synchronous, UART UART • 1 channel 10-bit A/D converter: 1 circuit, 12 channels				
	A/D converter	2 circuits • Main clock generation circuit (Equipped with a built-in feedback resistor) • On-chip oscillator (high-speed, low-speed) On high-speed on-chip oscillator the frequency adjustment function is usable. Stop detection of main clock oscillation				
Oscillation stop detection function	Included					
Voltage detection circuit	Included					
Power on reset circuit	Included					
Port	Input/Output: 22 (including LED drive port), Input: 2 (LED drive I/O port: 8)					
Electrical characteristics	Power supply voltage	VCC = 3.0 to 5.5V (f(Xin) = 20MHz) VCC = 2.7 to 5.5V (f(Xin) = 10MHz)				
	Power consumption	Typ. 9 mA (VCC = 5.0V, f(Xin) = 20MHz, High-speed mode) Typ. 5 mA (VCC = 3.0V, f(Xin) = 10MHz, High-speed mode) Typ. 35 μ A (VCC = 3.0V, Wait mode, Peripheral clock stops) Typ. 0.7 μ A (VCC = 3.0V, Stop mode)				
Flash memory	Program/erase voltage	VCC = 2.7 to 5.5 V				
	Number of program/erase	10,000 times (Data area) 1,000 times (Program area)				
Operating ambient temperature		-20 to 85°C -40 to 85°C (D-version)				
Package		32-pin plastic mold LQFP				

1.4 Product information

Table 1.2 lists the products.

Table 1.2 Product List

Type No.	ROM capacity		RAM capacity	Package type	Remarks
	Program area	Data area			
R5F21132FP	8K bytes	2K bytes x 2	512 bytes	PLQP0032GB-A	Flash memory version
R5F21133FP	12K bytes	2K bytes x 2	768 bytes	PLQP0032GB-A	
R5F21134FP	16K bytes	2K bytes x 2	1K bytes	PLQP0032GB-A	
R5F21132DFP	8K bytes	2K bytes x 2	512 bytes	PLQP0032GB-A	
R5F21133DFP	12K bytes	2K bytes x 2	768 bytes	PLQP0032GB-A	
R5F21134DFP	16K bytes	2K bytes x 2	1K bytes	PLQP0032GB-A	
D version					
R5F21132DFP	8K bytes	2K bytes x 2	512 bytes	PLQP0032GB-A	Flash memory version
R5F21133DFP	12K bytes	2K bytes x 2	768 bytes	PLQP0032GB-A	
R5F21134DFP	16K bytes	2K bytes x 2	1K bytes	PLQP0032GB-A	

As of April 2005

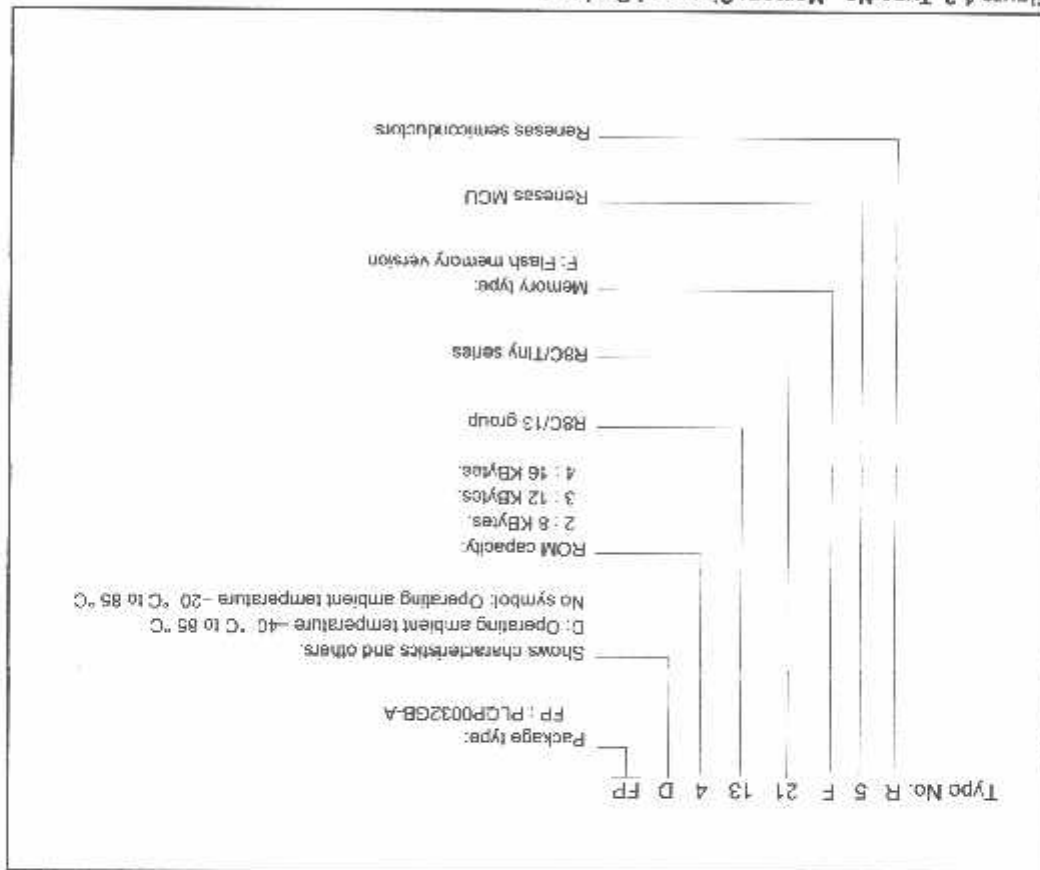
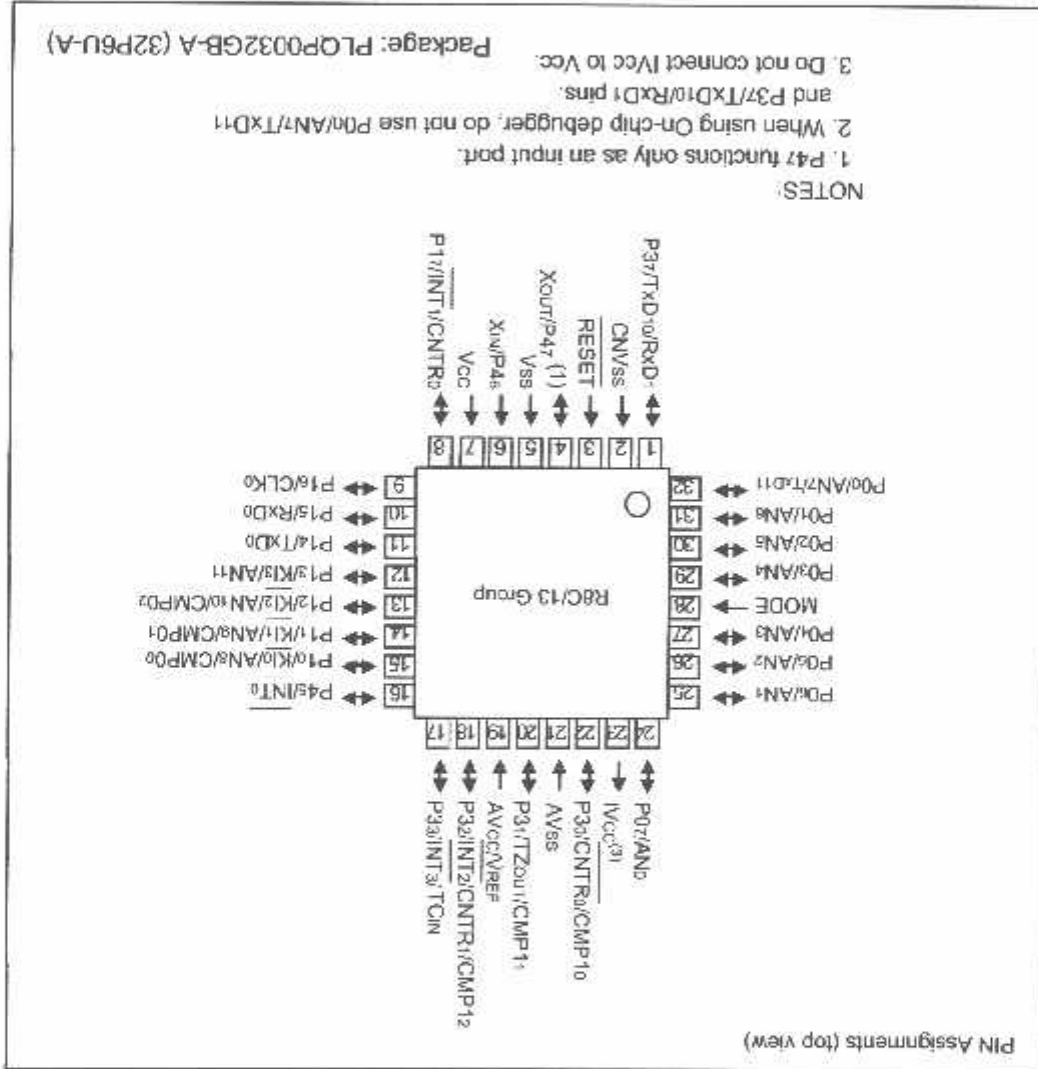


Figure 1.2 Type No., Memory Size, and Package

Figure 1.3 Pin Assignments (Top View)



- NOTES:
1. P47 functions only as an input port.
 2. When using On-chip debugger, do not use P0n/AN7/TxD11 and P37/TxD10/RxD1 pins.
 3. Do not connect I_{VCC} to V_{CC}.

1.5 Pin Assignments

Figure 1.3 shows the pin configuration (top view).

1.6 Pin Description

Table 1.3 shows the pin description

Table 1.3 Pin description

Signal name	Pin name	I/O type	Function
Power supply input	Vcc, Vss	I	Apply 2.7 V to 5.5 V to the Vcc pin. Apply 0 V to the Vss pin.
IVcc	IVcc	O	This pin is to stabilize internal power supply
Analog power supply input	AVcc, AVss	I	These are power supply input pins for A/D converter. Connect the AVcc pin to Vcc. Connect the AVss pin to Vss. Do not connect to Vcc
Reset input	RESET	I	"L" on this input resets the MCU.
CNVss	CNVss	I	Connect this pin to Vss via a resistor ¹⁾
MODE	MODE	I	Connect this pin to Vcc via a resistor
Main clock input	Xin	I	These pins are provided for the main clock generating circuit I/O. Connect a ceramic resonator or a crystal oscillator between the Xin and Xout pins. To use an externally derived clock, input it to the Xin pin and leave the Xout pin open.
Main clock output	Xout	O	These are INT interrupt input pins.
INT interrupt input	INT0 to INT3	I	These are key input interrupt pins.
Key input interrupt	KI0 to KI3	I	
Timer X	CNTR0	I/O	This is the timer X I/O pin.
Timer Y	CNTR1	O	This is the timer X output pin.
Timer Z	TZOUT	O	This is the timer Y I/O pin.
Timer C	TCIN	I	This is the timer Z output pin.
Serial interface	CMP0 to CMP03, O		These are the timer C output pins.
	CMP1 to CMP13		
	CLK0	I/O	This is a transfer clock I/O pin.
	RXD0, RXD1	I	These are serial data input pins.
Reference voltage input	TXD0, TXD1	O	These are serial data output pins.
	VREF	I	This is a reference voltage input pin for A/D converter. Connect the Vref pin to Vcc.
	AN0 to AN11	I	These are analog input pins for A/D converter.
I/O port	P00 to P07, P10 to P17, P30 to P33, P37, P46	I/O	These are 8-bit CMOS I/O ports. Each port has an I/O select direction register, allowing each pin in that port to be directed for input or output individually. Any port set to input can select whether to use a pull-up resistor or not by program.
Input port	P46, P47	I	These are input only pins.

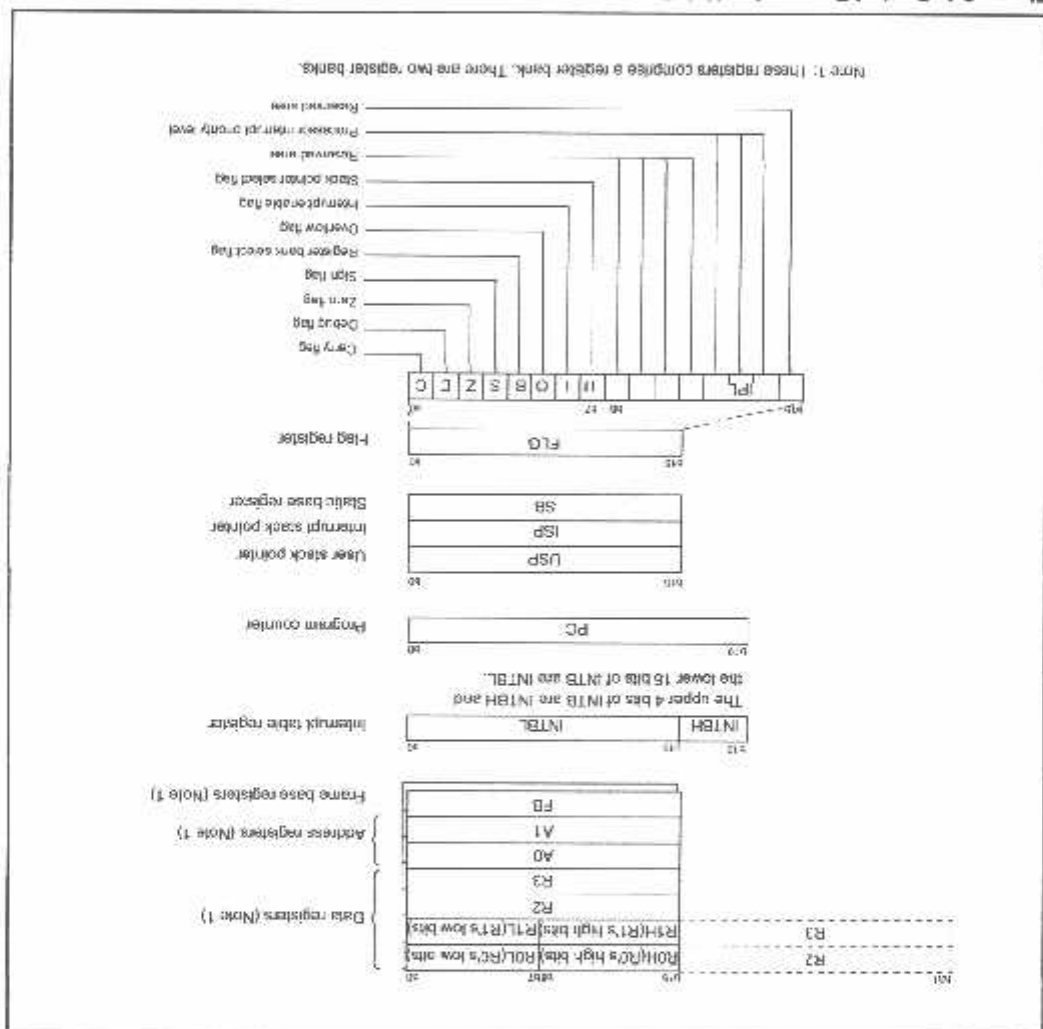
NOTES :

1. Refer to "19.8 Noise" for the connecting reference resistor value.

2. Central Processing Unit (CPU)

Figure 2.1 shows the CPU registers. The CPU has 13 registers. Of these, R0, R1, R2, R3, R0, A1 and FB comprise a register bank. There are two register banks.

Figure 2.1 Central Processing Unit Register



The R0 register consists of 16 bits, and is used mainly for transfers and arithmetic/logic operations. R1 to R3 are the same as R0. The R0 register can be separated between high (R0H) and low (R0L) for use as two 8-bit data registers. R1H and R1L are the same as R0H and R0L. Conversely, R2 and R0 can be combined for use as a 32-bit data register (R2R0). R3R1 is the same as R2R0.

2.1 Data Registers (R0, R1, R2 and R3)

2.2 Address Registers (A0 and A1)
The register A0 consists of 16 bits, and is used for address register indirect addressing and address register relative addressing. They also are used for transfers and logic operations. A1 is the same as A0. In some instructions, registers A1 and A0 can be combined for use as a 32-bit address register (A1A0).

2.3 Frame Base Register (FB)
FB is configured with 16 bits, and is used for FB relative addressing.

2.4 Interrupt Table Register (INTB)
INTB is configured with 20 bits, indicating the start address of an interrupt vector table.

2.5 Program Counter (PC)
PC is configured with 20 bits, indicating the address of an instruction to be executed.

2.6 User Stack Pointer (USP) and Interrupt Stack Pointer (ISP)
Stack pointer (SP) comes in two types: USP and ISP, each configured with 16 bits.

2.7 Static Base Register (SB)
Your desired type of stack pointer (USP or ISP) can be selected by the U flag of FLG.

2.8 Flag Register (FLG)
SB is configured with 16 bits, and is used for SB relative addressing.

FLG consists of 11 bits, indicating the CPU status.

2.8.1 Carry Flag (C Flag)
This flag retains a carry, borrow, or shift-out bit that has occurred in the arithmetic logic unit.

2.8.2 Debug Flag (D Flag)

The D flag is used exclusively for debugging purpose. During normal use, it must be set to "0".

2.8.3 Zero Flag (Z Flag)

This flag is set to "1" when an arithmetic operation resulted in 0; otherwise, it is "0".

2.8.4 Sign Flag (S Flag)

This flag is set to "1" when an arithmetic operation resulted in a negative value; otherwise, it is "0".

2.8.5 Register Bank Select Flag (B Flag)

Register bank 0 is selected when this flag is "0"; register bank 1 is selected when this flag is "1".

2.8.6 Overflow Flag (O Flag)

This flag is set to "1" when the operation resulted in an overflow; otherwise, it is "0".

2.8.7 Interrupt Enable Flag (I Flag)

This flag enables a maskable interrupt.

Maskable interrupts are disabled when the I flag is "0", and are enabled when the I flag is "1". The I flag is cleared to "0" when the interrupt request is accepted.

2.8.8 Stack Pointer Select Flag (U Flag)

ISP is selected when the U flag is "0"; USP is selected when the U flag is "1".

The U flag is cleared to "0" when a hardware interrupt request is accepted or an INT instruction for software interrupt Nos. 0 to 31 is executed.

2.8.9 Processor Interrupt Priority Level (IPL)

IPL is configured with three bits, for specification of up to eight processor interrupt priority levels from level 0 to level 7.

If a requested interrupt has priority greater than IPL, the interrupt is enabled.

2.8.10 Reserved Area

When write to this bit, write "0". When read, its content is indeterminate.

3. Memory

Figure 3.1 is a memory map of this MCU. The address space extends the 1M bytes from address 000016 to FFFF16.

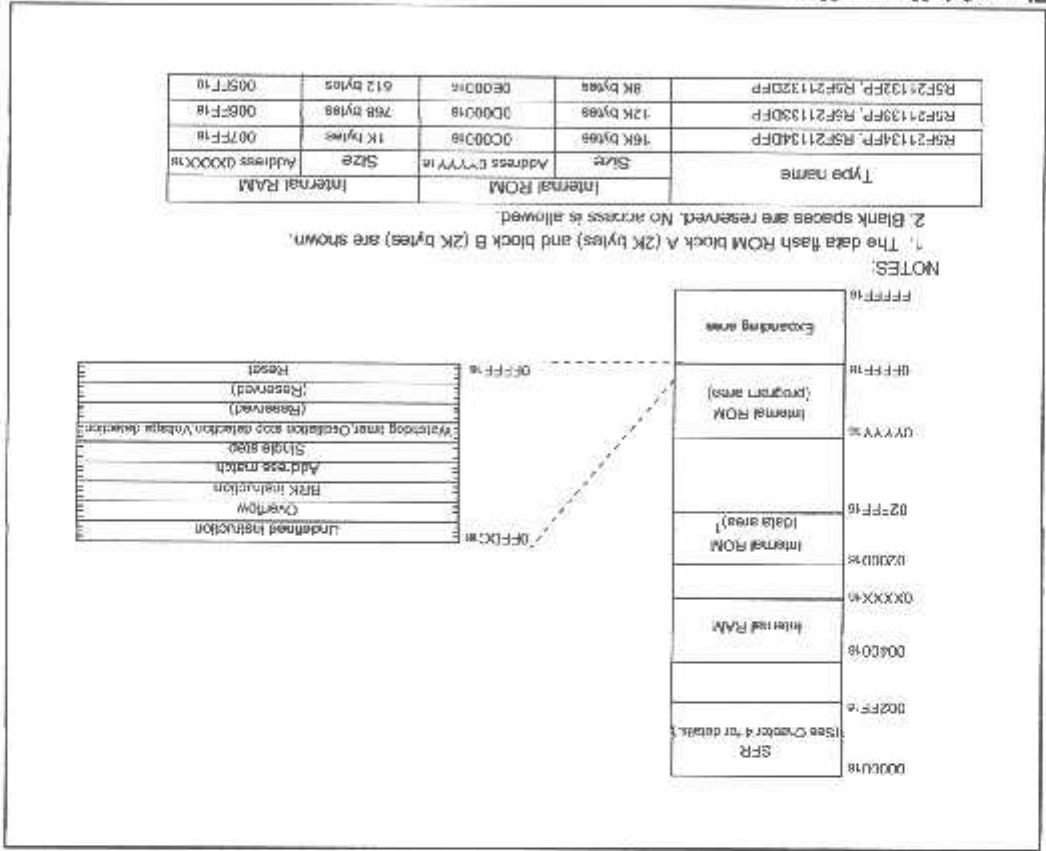
The internal ROM (program area) is allocated in a lower address direction beginning with address 0FFF16. For example, a 16-Kbyte internal ROM is allocated to the addresses from 0C0016 to 0FFF16.

The fixed interrupt vector table is allocated to the addresses from 0FFD16 to 0FFF16. Therefore, store the start address of each interrupt routine here.

The internal ROM (data area) is allocated to the addresses from 020016 to 02FF16.

The internal RAMI is allocated in an upper address direction beginning with address 004016. For example, a 1-Kbyte internal RAMI is allocated to the addresses from 004016 to 007F16. In addition to storing data, the internal RAM also stores the stack used when calling subroutines and when interrupts are generated.

Special function registers (SFR) are allocated to the addresses from 000016 to 002F16. Peripheral function control registers are located here. Of the SFR, any space which has no functions allocated is reserved for future use and cannot be used by users.



4. Special Function Register (SFR)

SFR(Special Function Register) is the control register of peripheral functions. Tables 4.1 to 4.4 list the SFR information

Table 4.1 SFR Information(1)(1)

Address	Register	Symbol	After reset
0000-0000			
0001-0001			
0002-0002			
0003-0003	Processor mode register 0	PM0	0016
0004-0004	Processor mode register 1	PM1	0016
0005-0005	System clock control register 0	CMD	001000002
0006-0006	System clock control register 1	CM1	001000002
0007-0007	High-speed on-chip oscillator control register 0	HRO	0016
0008-0008	High-speed on-chip oscillator control register 1	HRI	0016
0009-0009	Protection stop detection register	OCD	000001002
000A-000A	Watchdog timer reset register	WDR	XX16
000B-000B	Watchdog timer start register	WDS	XX16
000C-000C	Watchdog timer control register	WDC	001111112
000D-000D	Address match interrupt register 0	RMAD0	0016 0016 X016
000E-000E	Address match interrupt register 1	RMAD1	0016 0016 X016
000F-000F	Voltage detection register 1	VCR1	000010002 0016 X016
0010-0010	Voltage detection register 2	VCR2	100000002 0016 X016
0011-0011	INT0 input filter select register	INT0F	XXXXXX002 0016 X016
0012-0012	Voltage detection interrupt register 2		
0013-0013			
0014-0014			
0015-0015			
0016-0016			
0017-0017			
0018-0018			
0019-0019			
001A-001A			
001B-001B			
001C-001C			
001D-001D			
001E-001E			
001F-001F			
0020-0020			
0021-0021			
0022-0022			
0023-0023			
0024-0024			
0025-0025			
0026-0026			
0027-0027			
0028-0028			
0029-0029			
002A-002A			
002B-002B			
002C-002C			
002D-002D			
002E-002E			
002F-002F			
0030-0030			
0031-0031			
0032-0032			
0033-0033			
0034-0034			
0035-0035			
0036-0036			
0037-0037			
0038-0038			
0039-0039			
003A-003A			
003B-003B			
003C-003C			
003D-003D			
003E-003E			
003F-003F			

X: Undefined

NOTES:

1. Blank columns are all reserved space. No access is allowed.

2. Software reset or the watchdog timer reset does not affect this register.

3. Only 10 Reset input.

4. In the case of RESET pin = H holding.

Table 4.2 SFR Information(2)(1)

Address	Register	Symbol	After reset
0040H			
0041H			
0042H			
0043H			
0044H			
0045H			
0046H			
0047H			
0048H			
0049H			
004AH			
004BH			
004CH			
004DH			
004EH			
004FH			
0050H	Compare 1 interrupt control register	CMP1IC	XXXXXX0002
0051H	UART0 transmit interrupt control register	UART0TIC	XXXXXX0002
0052H	UART0 receive interrupt control register	UART0RIC	XXXXXX0002
0053H	UART1 transmit interrupt control register	UART1TIC	XXXXXX0002
0054H	UART1 receive interrupt control register	UART1RIC	XXXXXX0002
0055H	INT2 interrupt control register	INT2IC	XXXXXX0002
0056H	Timer X interrupt control register	TXIC	XXXXXX0002
0057H	Timer Y interrupt control register	TYIC	XXXXXX0002
0058H	Timer Z interrupt control register	TZIC	XXXXXX0002
0059H	INT1 interrupt control register	INT1IC	XXXXXX0002
005AH	INT3 interrupt control register	INT3IC	XXXXXX0002
005BH	Timer C interrupt control register	TCIC	XXXXXX0002
005CH	Compare 0 interrupt control register	CMP0IC	XXXXXX0002
005DH	INT0 interrupt control register	INT0IC	XXXXXX0002
005EH			
005FH			
0060H			
0061H			
0062H			
0063H			
0064H			
0065H			
0066H			
0067H			
0068H			
0069H			
006AH			
006BH			
006CH			
006DH			
006EH			
006FH			
0070H			
0071H			
0072H			
0073H			
0074H			
0075H			
0076H			
0077H			
0078H			
0079H			
007AH			
007BH			
007CH			
007DH			
007EH			
007FH			

X: Undefined
NOTES:
1. Blank columns are at reserved space. No access is allowed.

Table 4.3 SFR Information(3)(1)

Address	Register	Symbol	After reset
0000h	Timer Y, Z mode register	TYZMR	0016
0001h	Prescaler Y	PREY	FF16
0002h	Timer Y secondary	TYSC	FF16
0003h	Timer Y primary	TYPR	FF16
0004h	Timer Y, Z waveform output control register	PWM	0016
0005h	Prescaler Z	PREZ	FF16
0006h	Timer Z secondary	TZSC	FF16
0007h	Timer Z primary	TZPR	FF16
0008h			
0009h	Timer Y, Z output control register	TYZOC	0016
000Ah	Timer X mode register	TXMR	0016
000Bh	Prescaler X	PREX	FF16
000Ch	Timer X register	TX	0016
000Dh	Count source set register	TCSS	0016
000Eh	Timer C register	TC	0016
000Fh			
0010h			
0011h			
0012h			
0013h	External input enable register	INTEN	0016
0014h			
0015h			
0016h	Key input enable register	KIEN	0016
0017h			
0018h	Timer C control register 0	TC00	0016
0019h	Timer C control register 1	TC01	0016
001Ah	Capture, compare, C register	TMO	0016
001Bh	Compare 1 register	TM1	FF16
001Ch	UART0 transmit/receive mode register	UMMR	0016
001Dh	UART0 bit rate register	UMBRG	XX16
001Eh	UART0 transmit buffer register	U0TB	XX16
001Fh	UART0 transmit/receive control register 0	U0C0	00001000h
0020h	UART0 transmit/receive control register 1	U0C1	00000010h
0021h	UART0 receive buffer register	U0RB	XX16
0022h	UART1 transmit/receive mode register	U1MR	0016
0023h	UART1 bit rate register	U1BRG	XX16
0024h	UART1 transmit buffer register	U1TB	XX16
0025h	UART1 transmit/receive control register 0	U1C0	00001000h
0026h	UART1 transmit/receive control register 1	U1C1	00000010h
0027h	UART1 receive buffer register	U1RB	XX16
0028h	UART transmit/receive control register 2	UCON	0016
0029h			
002Ah			
002Bh			
002Ch			
002Dh			
002Eh			
002Fh			
0030h			
0031h			
0032h			
0033h			
0034h			
0035h			
0036h			
0037h			
0038h			
0039h			
003Ah			
003Bh			
003Ch			
003Dh			
003Eh			
003Fh			

X : Undefined
NOTES:

- 1. Blank columns are at reserved space. No access is allowed.
- 2. When the output compare mode is selected (the TCC13 bit in the TCC1 register = 1), the value is set to FFFF16.

Table 4.4 SFR Information(4)(1)

Address	Register	Symbol	After reset
0000h	AD register	AD	XX16
0001h			
0002h			
0003h			
0004h			
0005h			
0006h			
0007h			
0008h			
0009h			
000Ah			
000Bh			
000Ch			
000Dh			
000Eh			
000Fh			
0010h			
0011h			
0012h			
0013h			
0014h			
0015h			
0016h			
0017h			
0018h			
0019h			
001Ah			
001Bh			
001Ch			
001Dh			
001Eh			
001Fh			
0020h			
0021h			
0022h			
0023h			
0024h			
0025h			
0026h			
0027h			
0028h			
0029h			
002Ah			
002Bh			
002Ch			
002Dh			
002Eh			
002Fh			
0030h			
0031h			
0032h			
0033h			
0034h			
0035h			
0036h			
0037h			
0038h			
0039h			
003Ah			
003Bh			
003Ch			
003Dh			
003Eh			
003Fh			
0040h			
0041h			
0042h			
0043h			
0044h			
0045h			
0046h			
0047h			
0048h			
0049h			
004Ah			
004Bh			
004Ch			
004Dh			
004Eh			
004Fh			
0050h			
0051h			
0052h			
0053h			
0054h			
0055h			
0056h			
0057h			
0058h			
0059h			
005Ah			
005Bh			
005Ch			
005Dh			
005Eh			
005Fh			
0060h			
0061h			
0062h			
0063h			
0064h			
0065h			
0066h			
0067h			
0068h			
0069h			
006Ah			
006Bh			
006Ch			
006Dh			
006Eh			
006Fh			
0070h			
0071h			
0072h			
0073h			
0074h			
0075h			
0076h			
0077h			
0078h			
0079h			
007Ah			
007Bh			
007Ch			
007Dh			
007Eh			
007Fh			
0080h			
0081h			
0082h			
0083h			
0084h			
0085h			
0086h			
0087h			
0088h			
0089h			
008Ah			
008Bh			
008Ch			
008Dh			
008Eh			
008Fh			
0090h			
0091h			
0092h			
0093h			
0094h			
0095h			
0096h			
0097h			
0098h			
0099h			
009Ah			
009Bh			
009Ch			
009Dh			
009Eh			
009Fh			
00A0h			
00A1h			
00A2h			
00A3h			
00A4h			
00A5h			
00A6h			
00A7h			
00A8h			
00A9h			
00AAh			
00ABh			
00ACh			
00ADh			
00AEh			
00AFh			
00B0h			
00B1h			
00B2h			
00B3h			
00B4h			
00B5h			
00B6h			
00B7h			
00B8h			
00B9h			
00BAh			
00BCh			
00BDh			
00BEh			
00BFh			
00C0h			
00C1h			
00C2h			
00C3h			
00C4h			
00C5h			
00C6h			
00C7h			
00C8h			
00C9h			
00CAh			
00CBh			
00CCh			
00CDh			
00CEh			
00CFh			
00D0h			
00D1h			
00D2h			
00D3h			
00D4h			
00D5h			
00D6h			
00D7h			
00D8h			
00D9h			
00DAh			
00DBh			
00DCh			
00DDh			
00DEh			
00DFh			
00E0h			
00E1h			
00E2h			
00E3h			
00E4h			
00E5h			
00E6h			
00E7h			
00E8h			
00E9h			
00EAh			
00EBh			
00ECh			
00EDh			
00EEh			
00EFh			
00F0h			
00F1h			
00F2h			
00F3h			
00F4h			
00F5h			
00F6h			
00F7h			
00F8h			
00F9h			
00FAh			
00FBh			
00FCh			
00FDh			
00FEh			
00FFh			
0100h			
0101h			
0102h			
0103h			
0104h			
0105h			
0106h			
0107h			
0108h			
0109h			
010Ah			
010Bh			
010Ch			
010Dh			
010Eh			
010Fh			
0110h			
0111h			
0112h			
0113h			
0114h			
0115h			
0116h			
0117h			
0118h			
0119h			
011Ah			
011Bh			
011Ch			
011Dh			
011Eh			
011Fh			
0120h			
0121h			
0122h			
0123h			
0124h			
0125h			
0126h			
0127h			
0128h			
0129h			
012Ah			
012Bh			
012Ch			
012Dh			
012Eh			
012Fh			
0130h			
0131h			
0132h			
0133h			
0134h			
0135h			
0136h			
0137h			
0138h			
0139h			
013Ah			
013Bh			
013Ch			
013Dh			
013Eh			
013Fh			
0140h			
0141h			
0142h			
0143h			
0144h			
0145h			
0146h			
0147h			
0148h			
0149h			
014Ah			
014Bh			
014Ch			
014Dh			
014Eh			
014Fh			
0150h			
0151h			
0152h			
0153h			
0154h			
0155h			
0156h			
0157h			
0158h			
0159h			
015Ah			
015Bh			
015Ch			
015Dh			
015Eh			
015Fh			
0160h			
0161h			
0162h			
0163h			
0164h			
0165h			
0166h			
0167h			
0168h			
0169h			
016Ah			
016Bh			
016Ch			
016Dh			
016Eh			
016Fh			
0170h			
0171h			
0172h			
0173h			
0174h			
0175h			
0176h			
0177h			
0178h			
0179h			
017Ah			
017Bh			
017Ch			
017Dh			
017Eh			
017Fh			
0180h			
0181h			
0182h			
0183h			
0184h			
0185h			
0186h			
0187h			
0188h			
0189h			
018Ah			
018Bh			
018Ch			
018Dh			
018Eh			
018Fh			
0190h			
0191h			
0192h			
0193h			
0194h			
0195h			
0196h			
0197h			
0198h			
0199h			
019Ah			
019Bh			
019Ch			
019Dh			
019Eh			
019Fh			
01A0h			
01A1h			
01A2h			
01A3h			
01A4h			
01A5h			
01A6h			
01A7h			
01A8h			
01A9h			
01AAh			
01ABh			
01ACh			
01ADh			
01AEh			
01AFh			
01B0h			
01B1h			
01B2h			
01B3h			
01B4h			
01B5h			
01B6h			
01B7h			
01B8h			
01B9h			
01BAh			
01BCh			
01BDh			
01BEh			
01BFh			
01C0h			
01C1h			
01C2h			
01C3h			
01C4h			
01C5h			
01C6h			
01C7h			
01C8h			
01C9h			
01CAh			
01CBh			
01CCh			
01CDh			
01CEh			
01CFh			
01D0h			
01D1h			
01D2h			
01D3h			
01D4h			
01D5h			
01D6h			
01D7h			
01D8h			
01D9h			
01DAh			
01DBh			

5. Reset

There are three types of resets: a hardware reset, a software reset, and an watchdog timer reset.

5.1 Hardware Reset

There are three kinds of hardware reset: hardware reset 1, hardware reset 2, and power-on reset. After reset, the low-speed on-chip oscillator clock divided by 8 is automatically selected for the CPU.

5.1.1 Hardware Reset 1

A reset is applied using the RESET pin. When an "L" signal is applied to the RESET pin while the power supply voltage is within the recommended operating condition, the pins are initialized (see Table 5.1 "Pin Status When RESET Pin Level is "L"). When the input level at the RESET pin is released from "L" to "H", the CPU and SFR are initialized, and the program is executed starting from the address indicated by the reset vector. Figure 5.1 shows the CPU register status after reset and figure 5.2 shows the reset sequence. The internal RAM is not initialized. If the RESET pin is pulled "L" while writing to the internal RAM, the internal RAM becomes indeterminate. Figures 5.3 to 5.4 show the reset circuit example using the hardware reset 1. Refer to Chapter 4, "Special Function Register (SFR)" for the status of SFR after reset.

• When the power supply is stable

(1) Apply an "L" signal to the RESET pin.

(2) Wait for 500 μ s (1/f_{WING-S} × 20).

(3) Apply an "H" signal to the RESET pin.

• Power on

(1) Apply an "L" signal to the RESET pin.

(2) Let the power supply voltage increase until it meets the recommended operating condition.

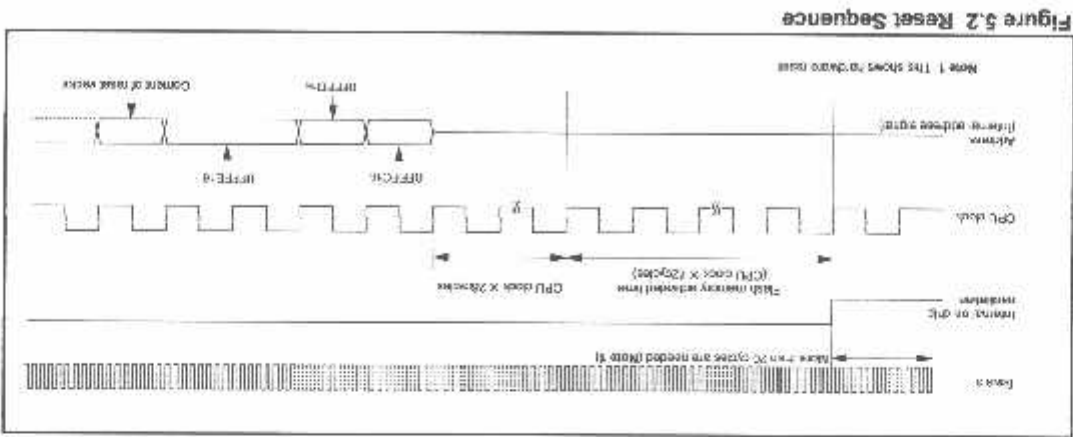
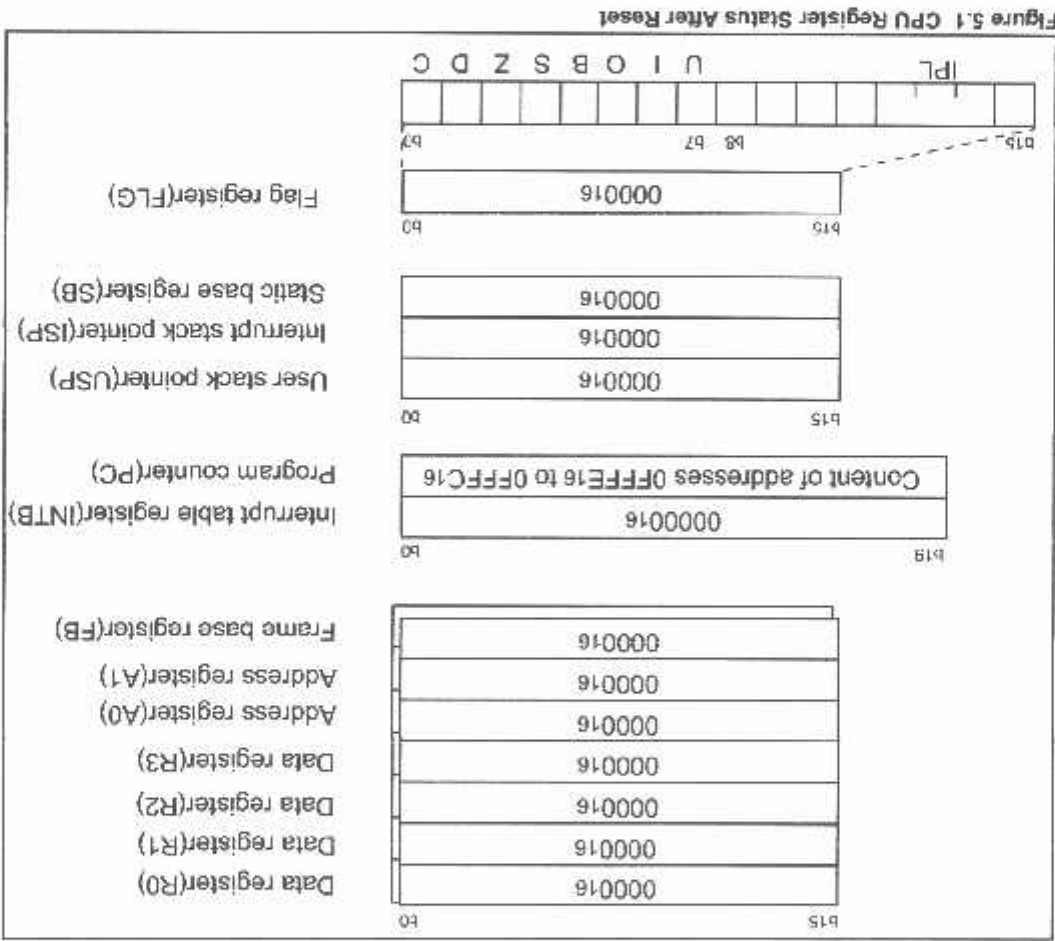
(3) Wait t_{id(P-R)} or more until the internal power supply stabilizes.

(4) Wait for 500 μ s (1/f_{WING-S} × 20).

(5) Apply an "H" signal to the RESET pin.

Pin name	Pin status
P0	Input port
P1	Input port
P30 to P35, P37	Input port
P45 to P47	Input port

Table 5.1 Pin Status When RESET Pin Level is "L"



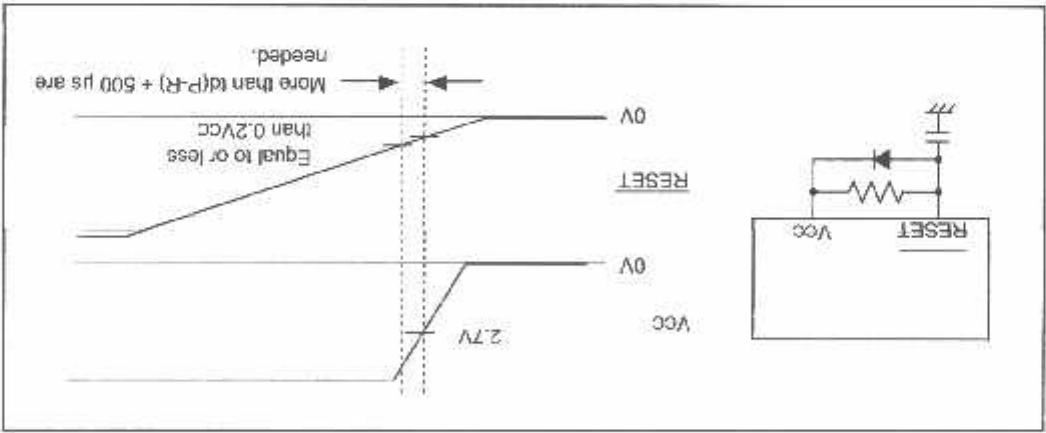


Figure 5.3 Example Reset Circuit Using The Hardware Reset 1

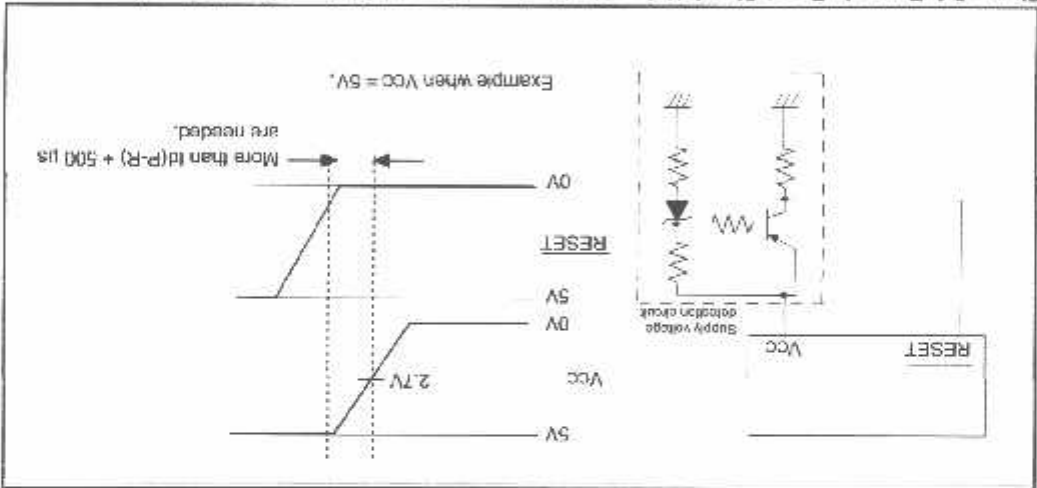


Figure 5.4 Example Reset Circuit Using The Hardware Reset 1 (Voltage Check Circuit)

5.1.2 Hardware Reset 2

This is the reset generated by the voltage detection circuit which is built-in to the microcomputer. The voltage detection circuit monitors the input voltage at Vcc input pin. The microcomputer is reset when the voltage at the Vcc input pin drops below Vdet if all of the following conditions hold true.

- The VC27 bit in the VCR2 register is set to "1" (voltage detection circuit enabled)
- The D40 bit in the D4INT register is set to "1" (voltage detection interrupt enabled)
- The D46 bit in the D4INT register is set to "1" (hardware reset 2 when going through Vdet)

When using a digital filter (D41 bit in the D4INT register is set to "1"), set the CM14 bit in the CM1 register to "0" (low-speed on-chip oscillator oscillates).

Conversely, when the input voltage at the Vcc pin rises to Vdet or more, the pins, CPU, and SFR are initialized and counting the low-speed on-chip oscillator starts. When counting the low-speed on-chip oscillator clock 32 times, the internal reset is exited and the program is executed beginning with the address indicated by the reset vector. The initialized pins and registers and the status thereof are the same as in hardware reset 1. Refer to Section 5.4 "Voltage Detection Circuit."

5.1.3 Power-on Reset Function

The power-on reset is the function which can reset the microcomputer without the external reset circuit. The RESET pin should be connected to the Vcc pin via about 5 kΩ pull-up resistance using the power-on reset function, the function turns to active and the microcomputer has its pins, CPU, and SFR initialized.

When the input voltage at the Vcc pin reaches to the Vdet level, count operation of the low-speed on-chip oscillator clock starts. When the operation counts the low-speed on-chip oscillator clock for 32 times, the internal reset is released. Then the program is executed starting from the address indicated by the reset vector. The initialized pins and registers and the status thereof are the same as in hardware reset 1 excluding the following bits.

- The D40 bit in the D4INT register turns to "1" automatically (voltage detection interrupt enabled)
- The D46 bit in the D4INT register turns to "1" automatically (hardware reset 2 when going through Vdet)

Additionally, the hardware reset 2 turns to active after the power-on reset. This is because the VC27 bit in the VCR2 register is set to "1" (voltage detection circuit enabled) after the power-on reset same as the hardware reset 1, so that hardware reset 2 active conditions are all satisfied including above D40 and D46 bit conditions.

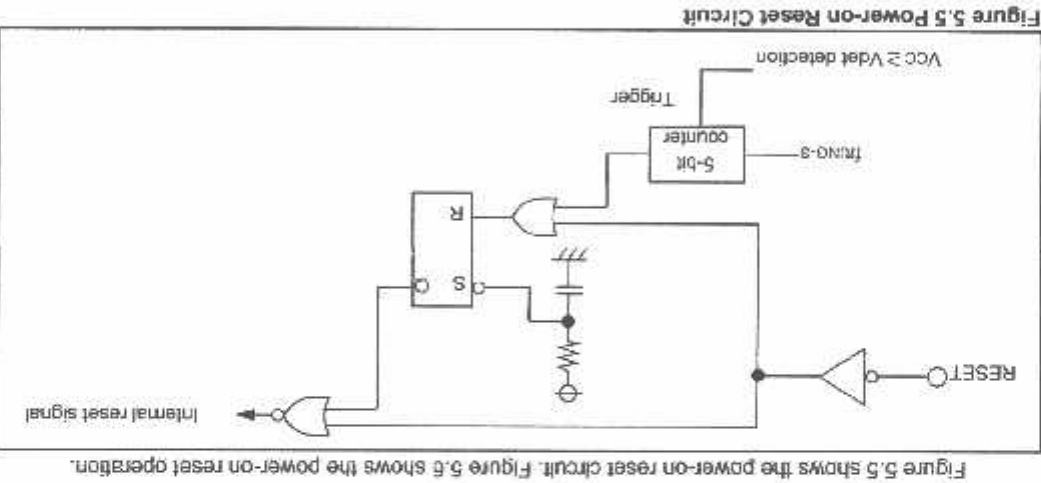
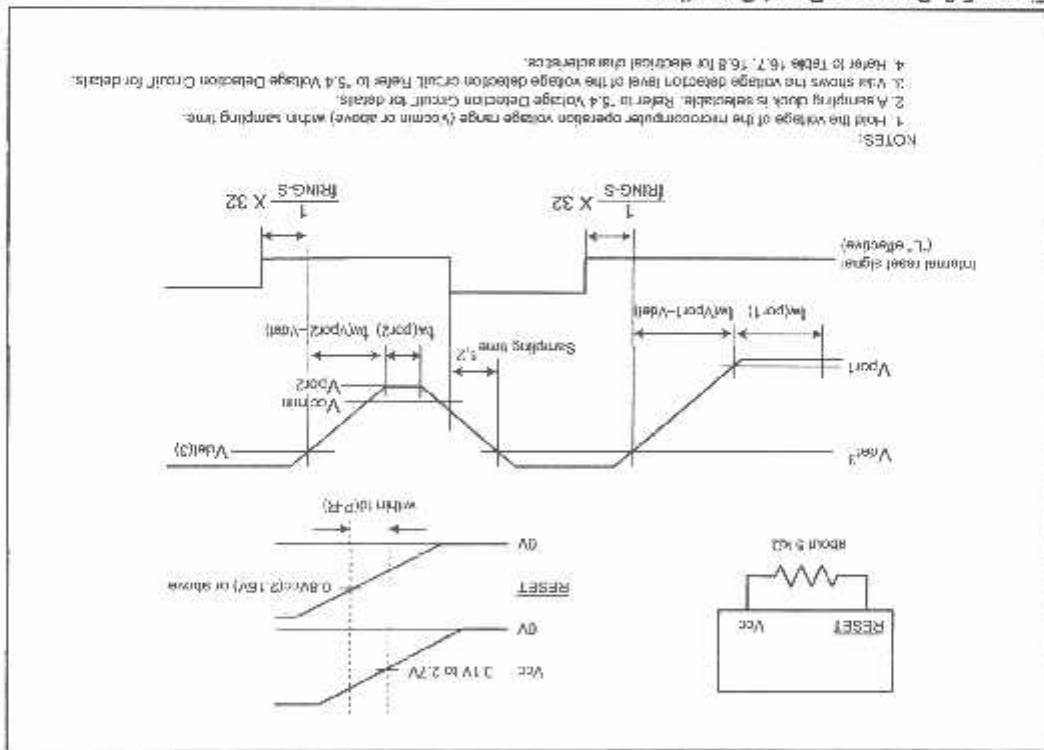


Figure 5.6 Power-on Reset Operation



5.2 Software Reset

When the PM03 bit in the PM0 register is set to "1" (microcomputer reset), the microcomputer has its pins, CPU, and SFR initialized. Then the program is executed starting from the address indicated by the reset vector.

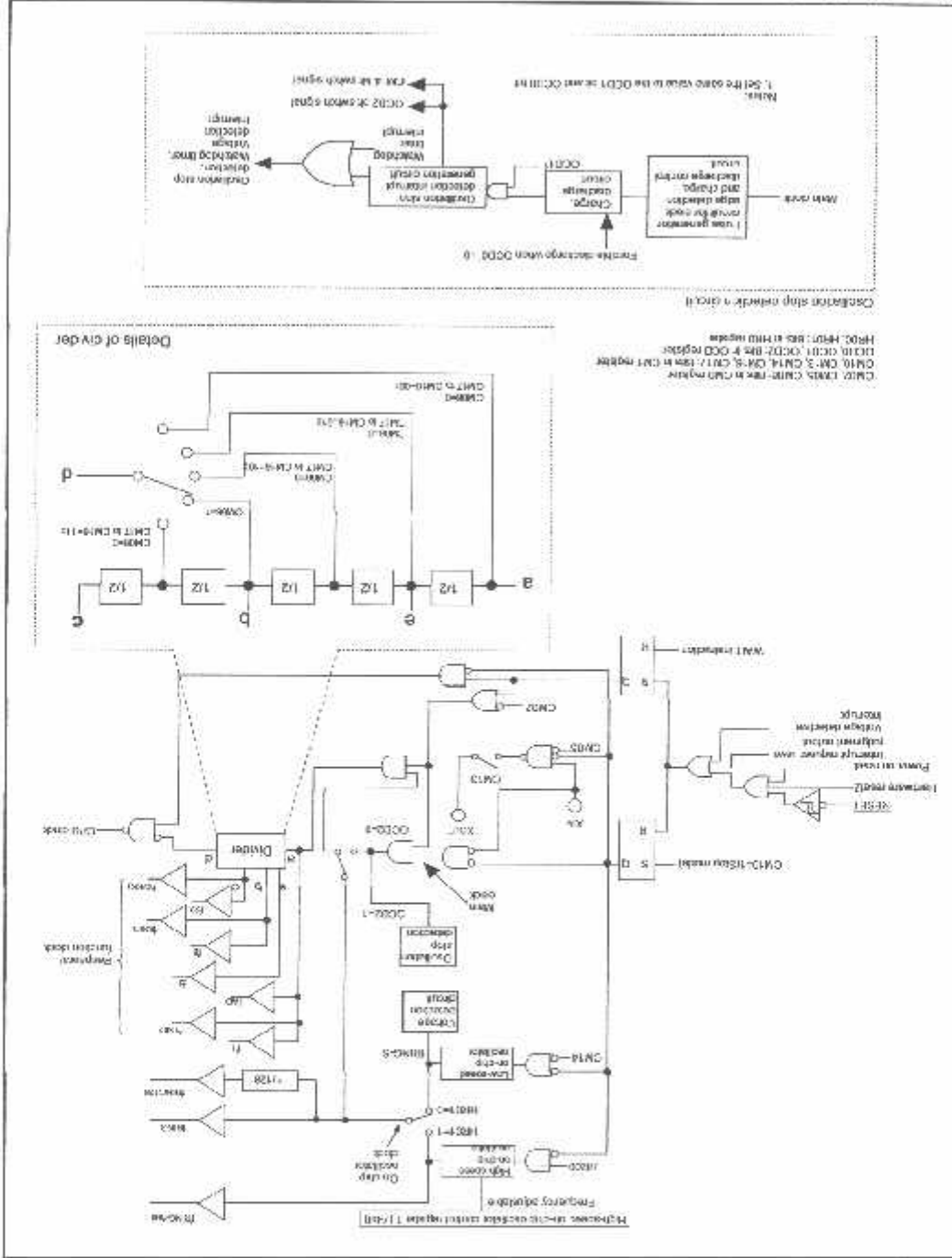
After reset, the low-speed on-chip oscillator clock divided by 8 is automatically selected for the CPU. Some SFRs are not initialized by the software reset. Refer to Chapter 4, "SFR."

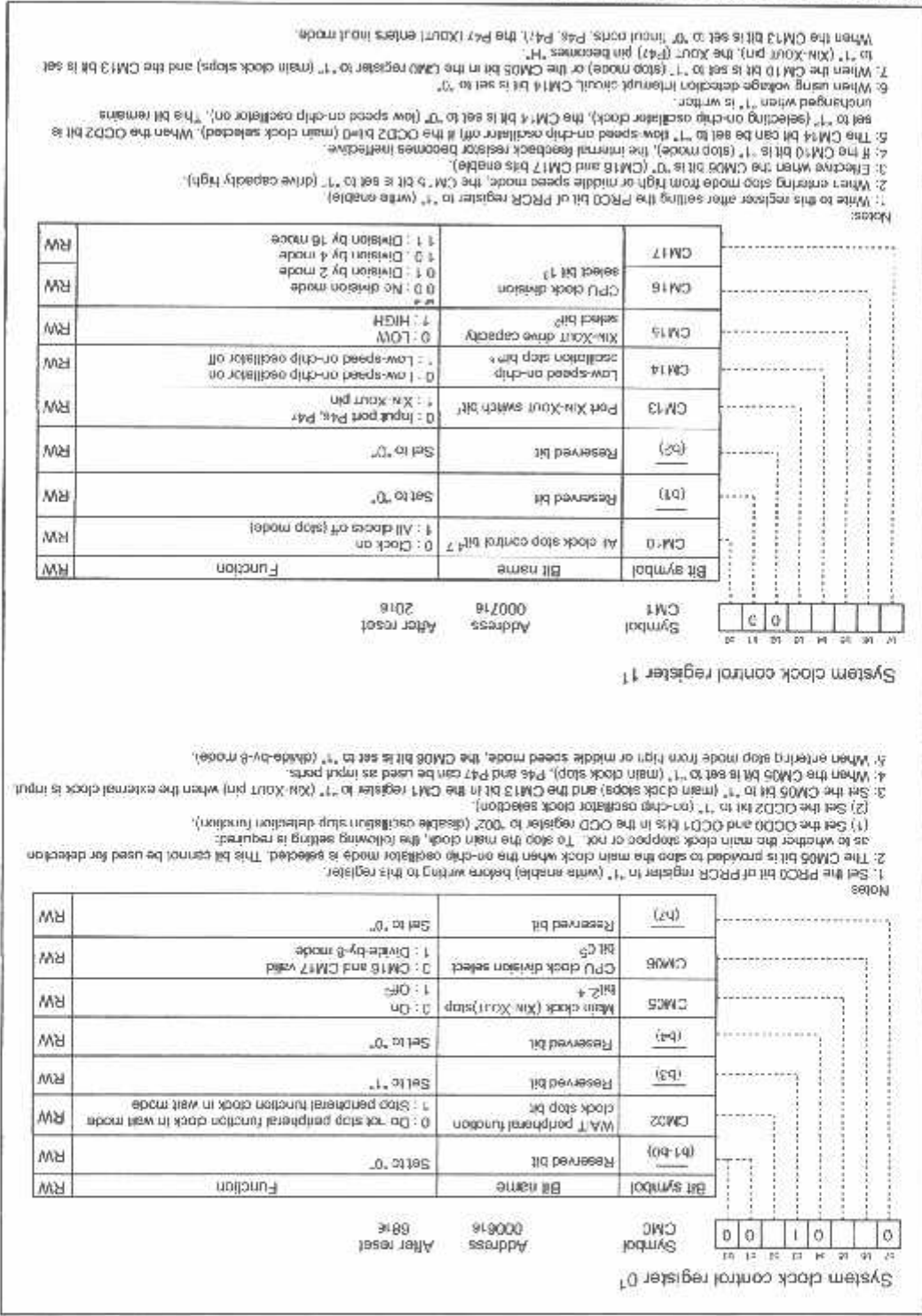
5.3 Watchdog Timer Reset

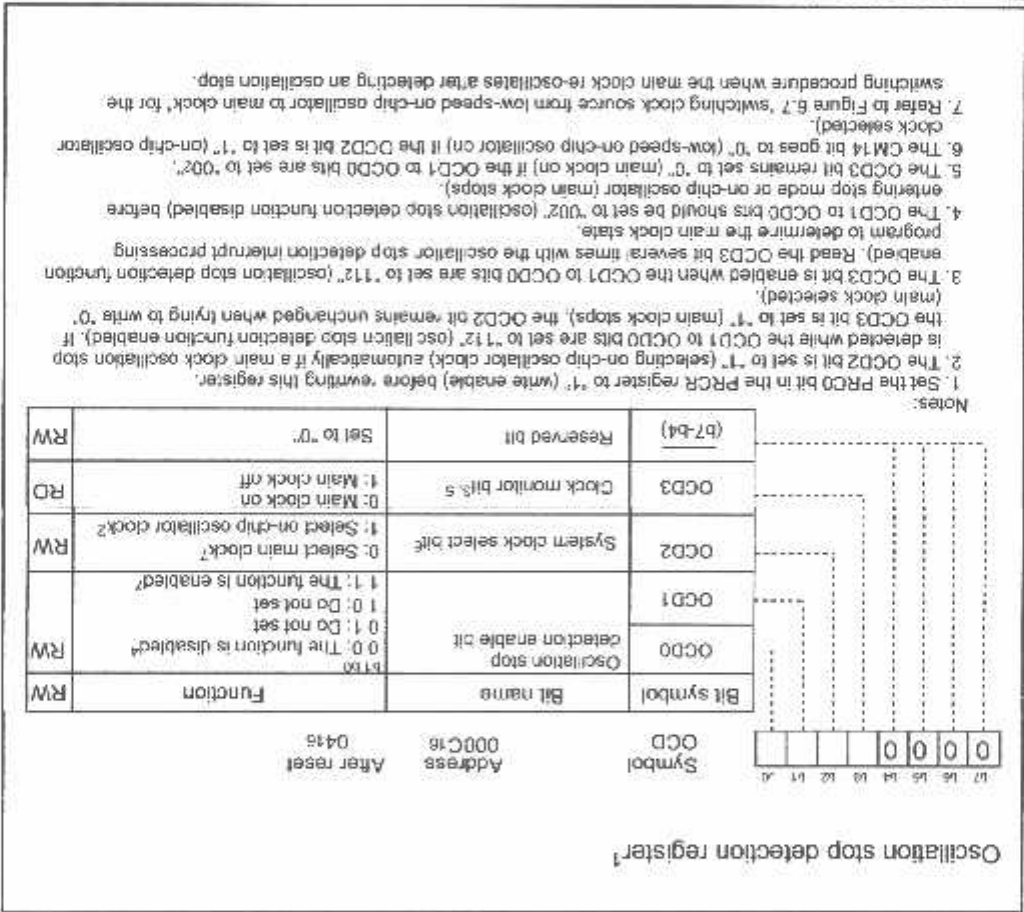
When the PM12 bit in the PM1 register is "1" (reset when watchdog timer underflows), the microcomputer initializes its pins, CPU and SFR if the watchdog timer underflows. Then the program is executed starting from the address indicated by the reset vector.

After reset, the low-speed on-chip oscillator clock divided by 8 is automatically selected for the CPU. Some SFRs are not initialized by the watchdog timer reset. Refer to Chapter 4, "SFR."

Figure 6.1 Clock Generation Circuit







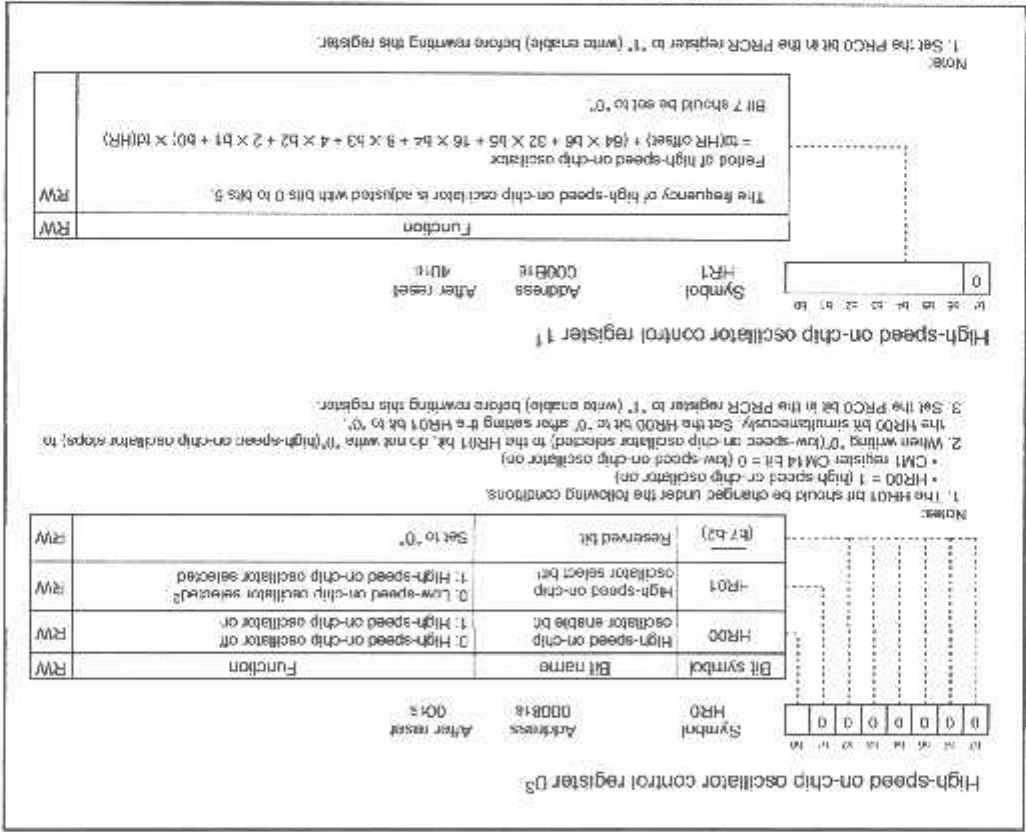


Figure 6.4 HR0 Register and HR1 Register

The following describes the clocks generated by the clock generation circuit.

6.1 Main Clock

This clock is supplied by a main clock oscillation circuit. This clock is used as the clock source for the CPU and peripheral function clocks. The main clock oscillation circuit is configured by connecting a resonator between the Xin and Xout pins. The main clock oscillator circuit contains a feedback resistor, which is disconnected from the oscillator circuit during stop mode in order to reduce the amount of power consumed in the chip. The main clock oscillator circuit may also be configured by feeding an externally generated clock to the Xin pin. Figure 6.5 shows examples of main clock connection circuit. During reset and after reset, the main clock is turned off.

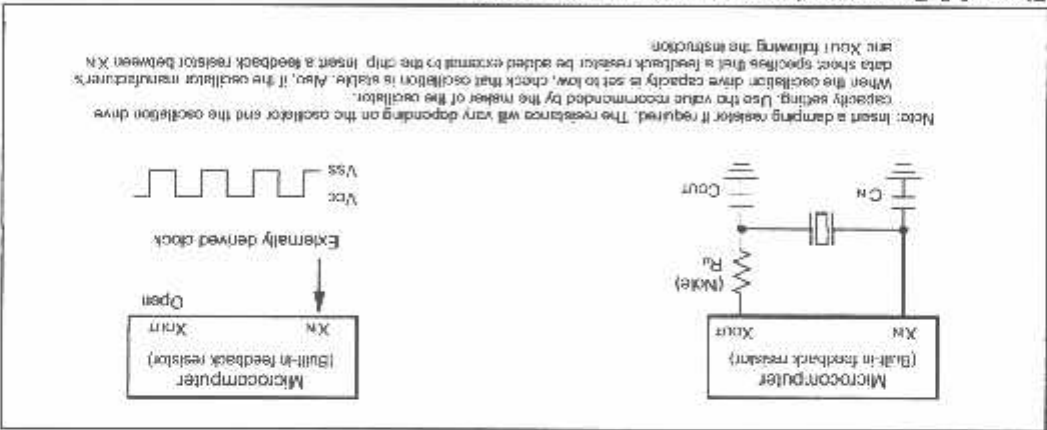
The main clock starts oscillating when the CM05 bit in the CM0 register is set to "0" (main clock on) after setting the CM13 bit in the CM1 register to "1" (Xin- Xout pin).

To use the main clock for the CPU clock, set the OCD2 bit in the OCD register to "0" (selecting main clock) after the main clock becomes oscillating stably.

The power consumption can be reduced by setting the CM05 bit in the CM0 register to "1" (main clock off) if the OCD2 bit is set to "1" (on-chip oscillator clock selected).

Note that if an externally generated clock is fed into the Xin pin, the main clock cannot be turned off by setting the CM05 bit to "1". If necessary, use an external circuit to turn off the clock.

During stop mode, all clocks including the main clock are turned off. Refer to Section 6.4, "Power Control."



6.2 On-Chip Oscillator Clock

This clock is supplied by a on-chip oscillator. There are two kinds of on-chip oscillator: high-speed on-chip oscillator and low-speed on-chip oscillator. These oscillators are selected by the bit HR01 bit in the HR0 register.

6.2.1 Low-Speed On-Chip Oscillator Clock

The clock derived from the low-speed on-chip oscillator is used as the clock source for the CPU clock, peripheral function clock, fring, fring128 and fring-s.

After reset, the on-chip oscillator clock derived from low-speed on-chip oscillator by divided by 8 is selected for the CPU clock.

If the main clock stops oscillating when the OCD1 to OCD4 bits in the OCD register are "112" (oscillation stop detection function enabled), the low-speed on-chip oscillator automatically starts operating, supplying the necessary clock for the microcomputer.

The frequency of the low-speed on-chip oscillator varies depending on the supply voltage and the operation ambient temperature. The application products must be designed with sufficient margin to accommodate the frequency range.

6.2.2 High-Speed On-Chip Oscillator Clock

The clock derived from high-speed on-chip oscillator is used as the clock source for the CPU clock, peripheral function clock, fring, fring128, and fring-fast.

After reset, the on-chip oscillator clock derived from high-speed on-chip oscillator is halted. The oscillation is started by setting the HR00 bit in the HR0 register to "1" (high-speed on-chip oscillator on). The frequency can be adjusted by the HR1 register.

The relationship between the value of HR1 register and the period of high-speed on-chip oscillator is shown below. It is noted that the difference in delay between the bits should be adjusted by changing each bit. Bit 7 should be set be "0".

Period of high-speed on-chip oscillator = $(64 \times b5 + 32 \times b5 + 16 \times b4 + 8 \times b3 + 4 \times b2 + 2 \times b1 + b0) \times td(HR)$
b0 to b6 : Bits in HR1 register

14. A/D Converter

The A/D converter consists of one 10-bit successive approximation A/D converter circuit with a capacitive coupling amplifier. The analog inputs share the pins with P06 to P07 and P10 to P13. Therefore, when using these pins, make sure the corresponding port direction bits are set to "0" (input mode). When not using the A/D converter, set the VCUIT bit to "0" (Vref unconnected), so that no current will flow from the VREF pin into the resistor ladder, helping to reduce the power consumption of the chip. The result of A/D conversion is stored in the AD register. Table 14.1 shows the performance of the A/D converter. Figure 14.1 shows a block diagram of the A/D converter, and Figures 14.2 and 14.3 show the A/D converter-related registers.

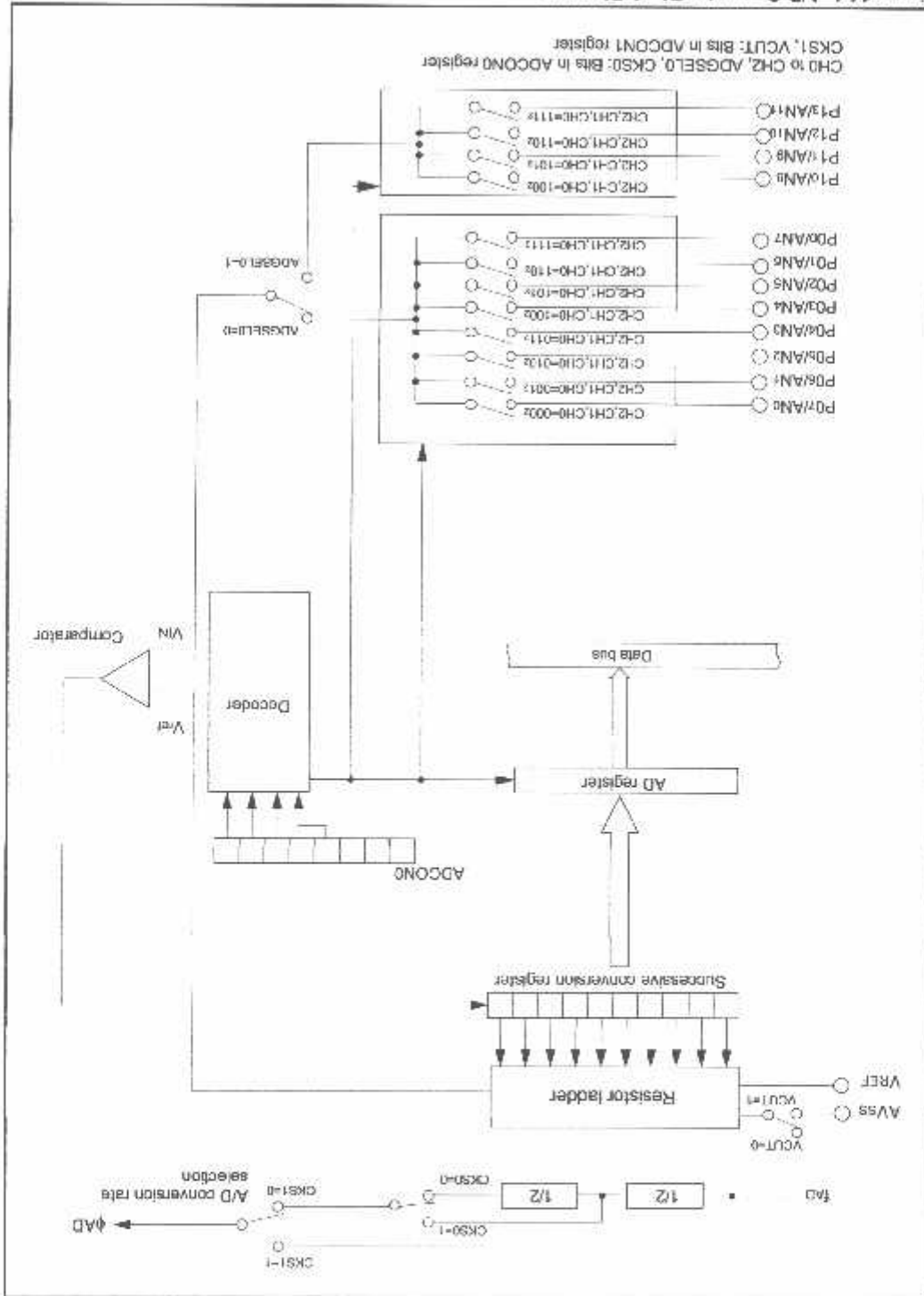
Table 14.1 Performance of A/D converter

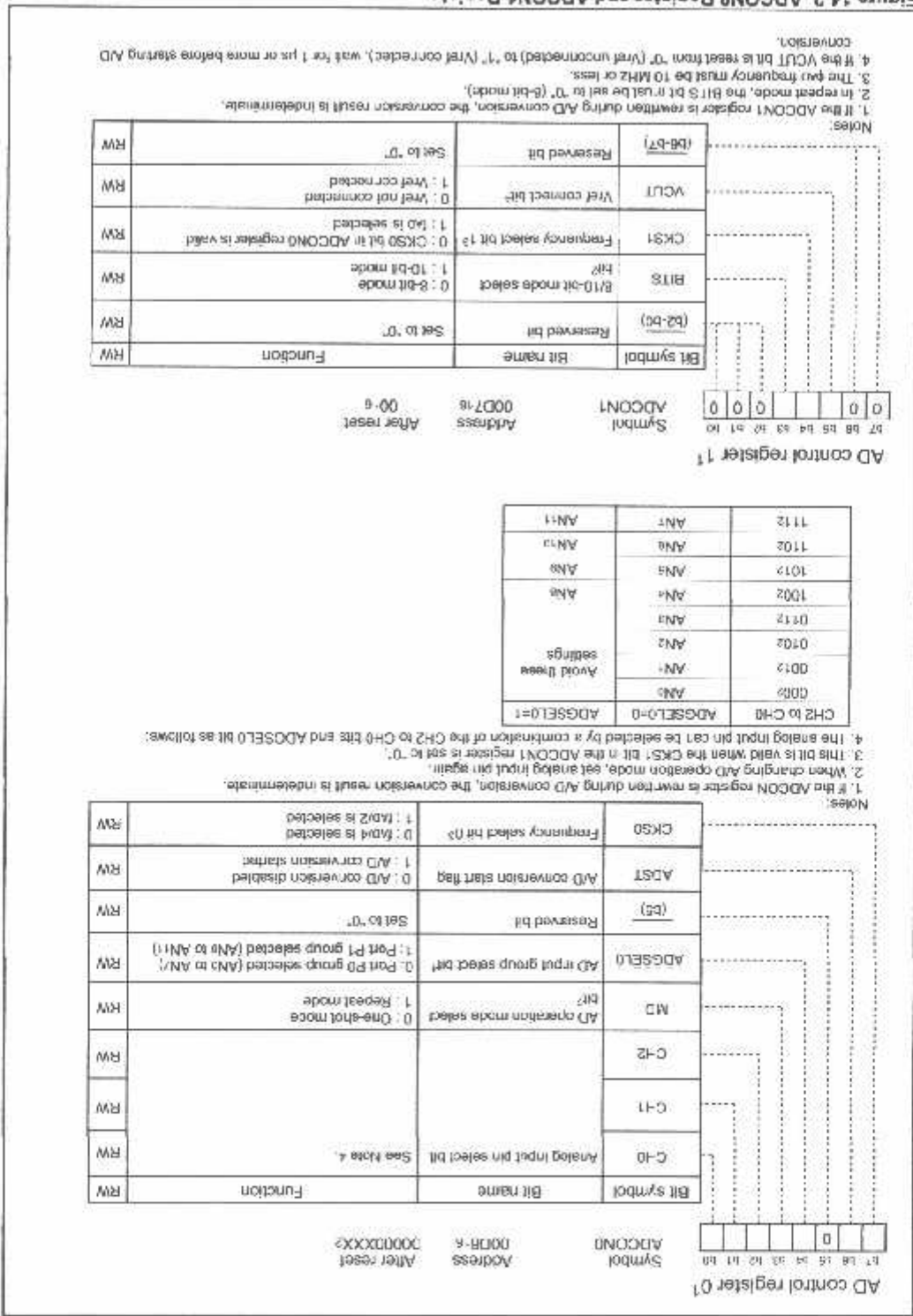
Item	Performance
Method of A/D conversion	Successive approximation (capacitive coupling amplifier)
Analog input voltage ¹	0V to Vref
Operating clock ϕ_{AD} ²	AVCC = 5V ϕ_{AD} , divide-by-2 of ϕ_{AD} , divide-by-4 of ϕ_{AD} AVCC = 3V ϕ_{AD} , divide-by-2 of ϕ_{AD} , divide-by-4 of ϕ_{AD}
Resolution	8-bit or 10-bit (selectable)
Integral nonlinearity error	AVCC = Vref = 5V • 8-bit resolution ± 2 LSB • 10-bit resolution ± 3 LSB
	AVCC = Vref = 3.3 V • 8-bit resolution ± 2 LSB • 10-bit resolution ± 5 LSB
Operating modes	One-shot mode and repeat mode ³
Analog input pins	12 pins (AN0 to AN11)
A/D conversion start condition	ADST bit in ADCON0 register is set to "1" (A/D conversion starts)
Conversion speed per pin	• Without sample and hold function 8-bit resolution: 49 ϕ_{AD} cycles, 10-bit resolution: 59 ϕ_{AD} cycles
	• With sample and hold function 8-bit resolution: 28 ϕ_{AD} cycles, 10-bit resolution: 33 ϕ_{AD} cycles

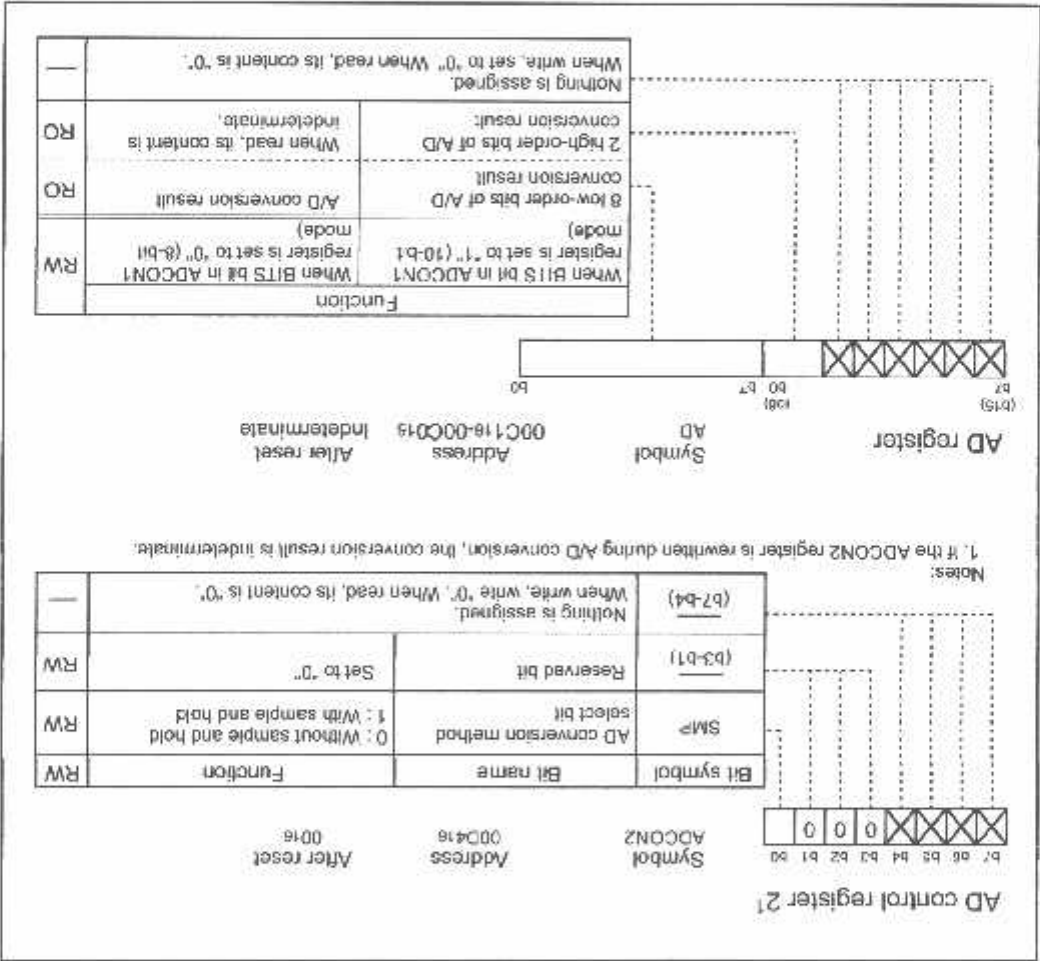
Notes:

1. Does not depend on use of sample and hold function.
2. The frequency of ϕ_{AD} must be 10 MHz or less.
When AVCC is less than 4.2V, ϕ_{AD} must be $\phi_{AD}/2$ or less by dividing ϕ_{AD} .
Without sample and hold function, the ϕ_{AD} frequency should be 250 kHz or more.
With the sample and hold function, the ϕ_{AD} frequency should be 1 MHz or more.
3. In repeat mode, only 8-bit mode can be used.

Figure 14.1 A/D Converter Block Diagram







14.1 One-shot Mode

In one-shot mode, the input voltage on one selected pin is A/D converted once. Table 14.2 lists the specifications of one-shot mode. Figure 14.4 shows the ADCON0 and ADCON1 registers in one-shot mode.

Table 14.2 One-shot Mode Specifications

Item	Specification
Function	Input voltage on one pin selected by CH2 to CH0 and ADGSEL0 bit is A/D converted once.
Start condition	Set ADST bit to "1"
Stop condition	• Completion of A/D conversion (ADST bit is set to "0") • Set ADST bit to "0"
Interrupt request generation timing	End of A/D conversion
Input pin	One of AN0 to AN11, as selected
Reading of result of A/D converter	Read AD register

Figure 14-4 shows the bit fields for the AD_CONVERT register. The register is 16 bits wide and is located at address 0x00000000. The bit fields are defined as follows:

Bit	Field	Reset Value	Write (W)	Read (R)
15:12	AD_CONVERT[15:12]	0000	0	0
11:10	AD_CONVERT[11:10]	0000	0	0
9:8	AD_CONVERT[9:8]	0000	0	0
7:6	AD_CONVERT[7:6]	0000	0	0
5:4	AD_CONVERT[5:4]	0000	0	0
3:2	AD_CONVERT[3:2]	0000	0	0
1:0	AD_CONVERT[1:0]	0000	0	0

The bit fields are defined as follows:

- AD_CONVERT[15:12]:** AD_CONVERT register bit 15, AD_CONVERT register bit 14, AD_CONVERT register bit 13, AD_CONVERT register bit 12.
- AD_CONVERT[11:10]:** AD_CONVERT register bit 11, AD_CONVERT register bit 10.
- AD_CONVERT[9:8]:** AD_CONVERT register bit 9, AD_CONVERT register bit 8.
- AD_CONVERT[7:6]:** AD_CONVERT register bit 7, AD_CONVERT register bit 6.
- AD_CONVERT[5:4]:** AD_CONVERT register bit 5, AD_CONVERT register bit 4.
- AD_CONVERT[3:2]:** AD_CONVERT register bit 3, AD_CONVERT register bit 2.
- AD_CONVERT[1:0]:** AD_CONVERT register bit 1, AD_CONVERT register bit 0.

The register is located at address 0x00000000. The reset value is 00000000. The write (W) and read (R) values are 0 for all bits.

1. The master clock register is read when during A/D conversion, the conversion result is indeterminate.
2. The output frequency must be 10MHz or less.
3. The VOUT bit is reset from "0" (Vref unconnected) to "1" (Vref connected), wait for 1 μ s or more before starting A/D conversion.

NOTES:

Bit symbol	Bit name	Reserved bit	Set in "0"	R/W
(b2-D0)	Reserved bit	Reserved bit	Set in "0"	R/W
BITS	8/10 bit mode select	0 : 8-bit mode 1 : 10-bit mode		R/W
CKS1	Frequency select bit 12	0 - CKS0 bit n ADCON0 register is valid 1 - fcu is selected		R/W
VCUT	Vref connect bit	1 : Vref connected		R/W
(b0-D7)	Reserved bit	Reserved bit	Set to "0"	R/W

0	0	0			1	0	0
00	10	10	11	11	00	00	10

Symbol

ADONIS

After reset
000716

9100

CH2B CHD	ADGSELD=0	AN1	AN1	0000
		AN2	AN2	0010
		AN3	AN3	0110
		AN4	AN4	1000
		AN5	AN5	1010
		AN6	AN6	1100
		AN7	AN7	1110
		AN8	AN8	
		AN9	AN9	
		AN10	AN10	
		AN11	AN11	

4. The analog input pin can be selected by a combination of the CH2 to CH0 bits and ADGSEL0 bit as follows:

SEIDEN

Bit Symbol	Bit Name	Function
CH0	Analogue input pin select bit ²	See Note 4
CH1		
CH2		
MD	AD operation mode select bit ²	0: One-shot mode
ADGSEL0	AD input group select bit ²	0: Post PG group selected (ANA to AN7) 1: Post P ₁ group selected (ANA to AN11)
(xx)	Reserved bit	Set to '0'
ADST	AD conversion start flag	0: AD conversion disabled 1: AD conversion started
CSD	Frequency select bit D ²	0: FAD/4 is selected 1: FAD/2 is selected
RW		

AD control register 01

δύναμις

Address

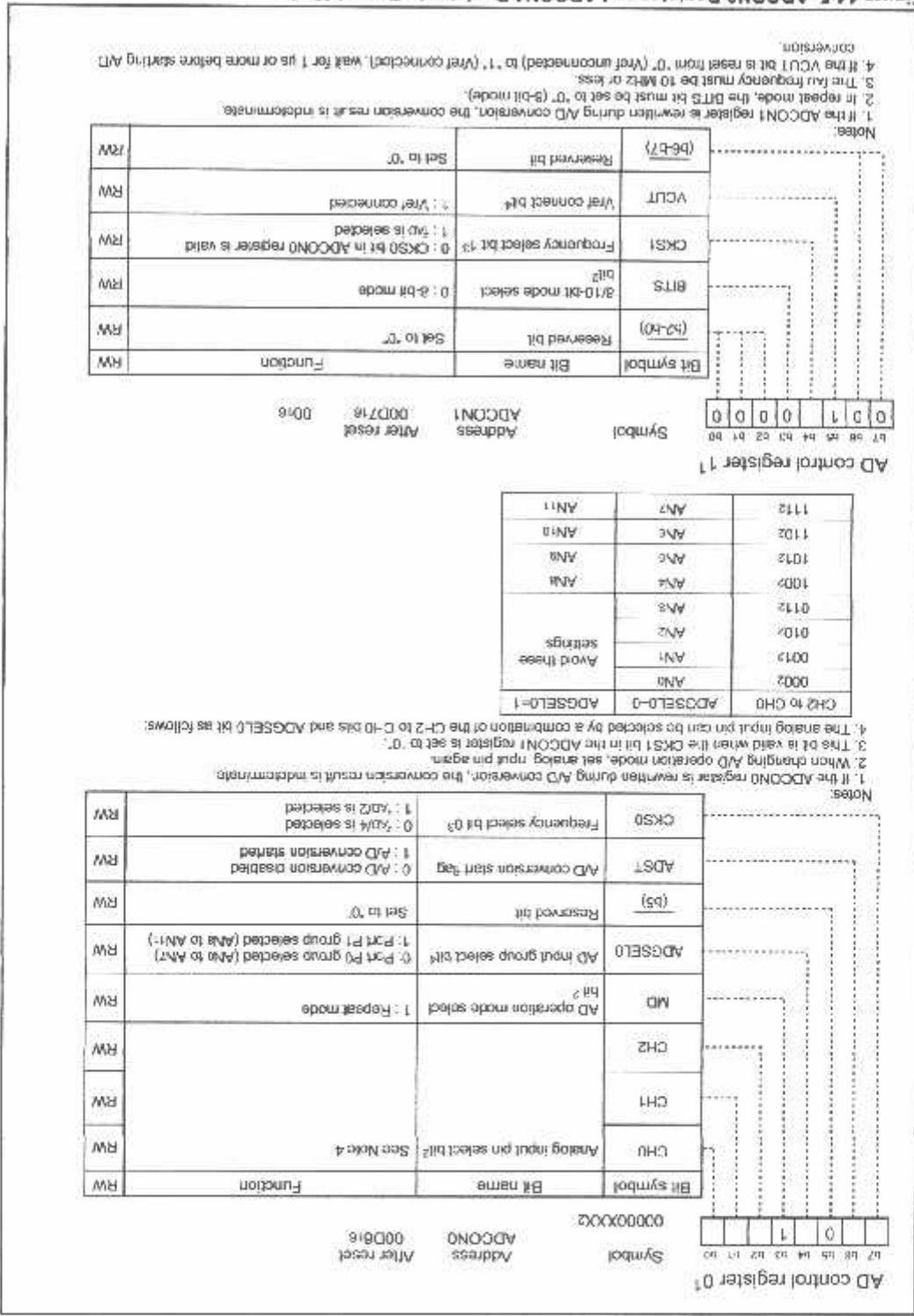
003518
After-Travel

14.2 Repeat Mode

In repeat mode, the input voltage on one selected pin is A/D converted repeatedly. Table 14.3 lists the specifications of repeat mode. Figure 14.5 shows the ADCON0 and ADCON1 registers in repeat mode.

Table 14.3 Repeat Mode Specifications

Item	Specification
Function	Input voltage on one pin selected by CH2 to CH0 and ADGSEL0 bits is A/D converted repeatedly
Start condition	Set ADST bit to "1"
Stop condition	Set ADST bit to "0"
Interrupt request generation timing	None generated
Input pin	One of AN0 to AN11, as selected
Reading of result of A/D converter	Read AD register



14.3 Sample and Hold

If the SMP bit in the ADCON2 register is set to "1" (with sample-and-hold), the conversion speed per pin is increased to 28 μ AD cycles for 8-bit resolution or 33 μ AD cycles for 10-bit resolution. Sample-and-hold is effective in all operation modes. Select whether or not to use the sample-and-hold function before starting A/D conversion.

When performing the A/D conversion, charge the comparator capacitor inside the microcomputer. Figure 14.5 shows the A/D conversion timing diagram.

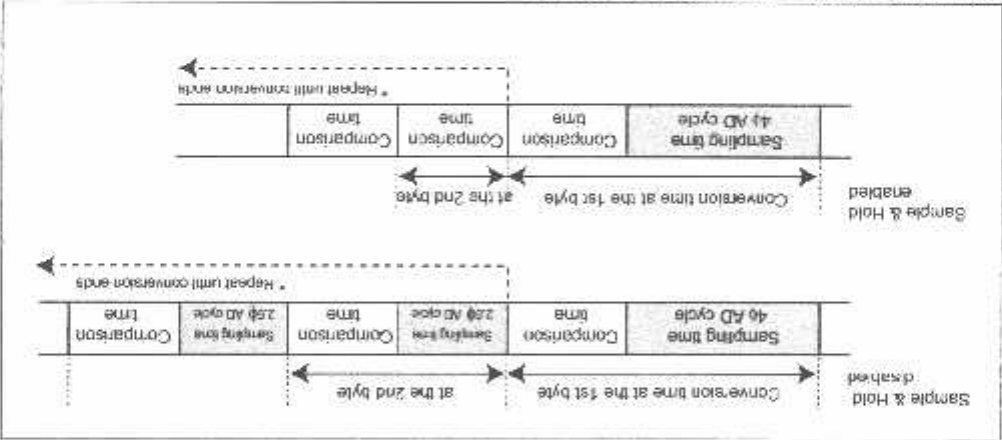


Figure 14.5 A/D Conversion Timing Diagram

14.4 A/D conversion cycles

Figure 14.7 shows the A/D conversion cycles.

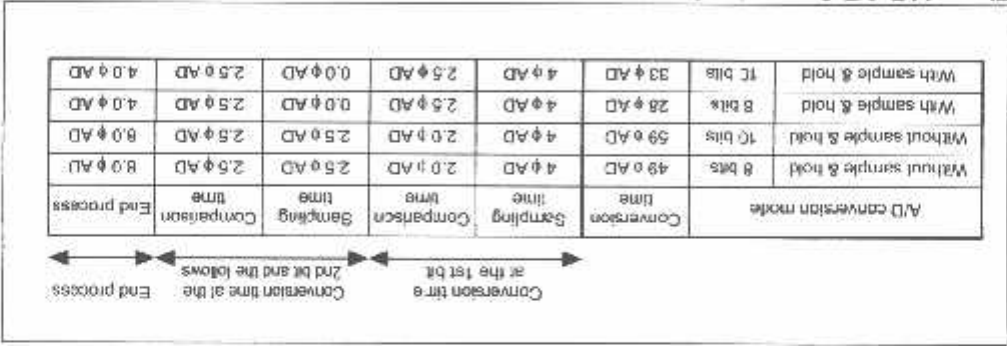


Figure 14.7 A/D Conversion Cycles

16. Electrical Characteristics

Table 16.2 Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Condition	Rated value	Unit
V _{CC}	Supply voltage	V _{CC} =A _{VCC}	0.3 to 6.5	V
A _{VCC}	Analog supply voltage	V _{CC} =A _{VCC}	0.3 to 6.5	V
V _I	Input voltage		0.3 to 6.5	V
V _O	Output voltage		0.3 to V _{CC} -0.3	V
P _D	Power dissipation		-0.3 to V _{CC} +0.3	V
T _{OT}	Operating ambient temperature	T _{AP} =25°C	300	mW
T _{ST}	Storage temperature		-20 to 85 / -40 to 85 (D version)	°C
			85 to 150	°C

Table 16.2 Recommended Operating Conditions

[illegible]

1. Referenced to V_{CC} : $A_{VCC} = 2.7$ to 5.5V at $T_{op} = -20$ to 85°C / -40 to 85°C unless otherwise specified
2. The mean output current is the mean value within 100ms.
3. Set $V_{CC} = A_{VCC}$

3. Set $V_{CO} = A/V_{IC}$

Table 16.6 Voltage Detection Circuit Electrical Characteristics

Symbol	Parameter	Measuring condition	Unit	Min.	Typ.	Max.
V ₀₁	Voltage detection level		V	3.5	3.5	4.5
V ₀₂	Voltage detection interval request generating time ¹⁾		ms		60	
V ₀₃	Voltage detection interval self suspension current		mA		800	
V ₀₄	Waiting time until voltage detection circuit operation starts ²⁾	V ₀₂ =4, V ₀₃ =5, V ₀₄	ms			
V ₀₅	Microcomputer operation voltage minimum value		V			2.7

1. First, the hardware is configured for the voltage detection circuit. The voltage detection circuit is configured by setting the VDET0 register to 0.
2. This shows the time until the voltage detection interrupt request is generated since the voltage passes VDET.
3. This shows the required time until the voltage detection circuit operates when setting to 1 again after setting the VDET bit in the VCFR2 register to 0.

Table 16.7 Reset Circuit Electrical Characteristics (When Using Hardware Reset 2) (a)

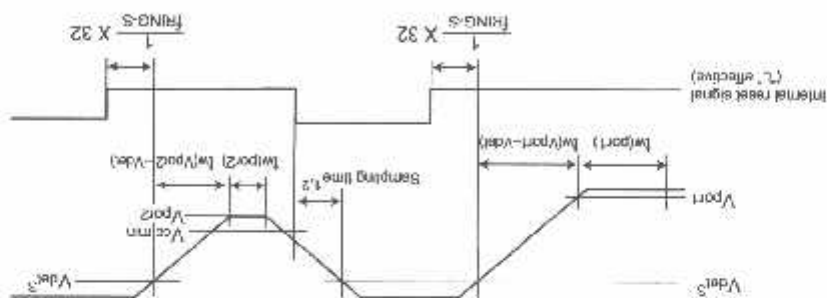
Symptol	Parameter	Measuring condition	Min. standard 1 yr	Max. 1 yr	Unit
V002	Power-on reset voltage	-20°C ≤ Temp ≤ 85°C	—	V _{DR1}	V
W002-2	Supply voltage rising time when power-on reset is cancelled	20°C ≤ Temp ≤ 85°C, 0m/2002.2.007	—	100	ms

1. The voltage detection circuit which is embedded in a microcomputer is a factor to generate the hardware reset 2. Refer to 5.1.2 Hardware Reset 2.
2. This condition is not applicable when using VCC ± 1 V.
3. When turning power on after the external power has been held below the valid voltage for greater than 10 seconds, refer to Table 7-6.5 Reset Circuit Electrical Characteristics (When Not Using Hardware Reset 2).
4. t_{WDR2} is time to hold the external power below effective voltage (V_{DR2}).

Table 16.8: Reset Circuit Electrical Characteristics (When Not Using Hardware Reset 2)

Symbol	Parameter	Measuring condition	Min.	Standard typ.	Max.	Unit
V_{F01}	Forward rated value voltage	-20°C < $T_{\text{case}} < 85^{\circ}\text{C}$	—	—	0.4	V
t_{F01}	Supply voltage rising time when power-on mode is cancelled	0°C < $T_{\text{case}} \leq 90^{\circ}\text{C}$ < 100°C < 210°C	—	—	100	ns
t_{F02}	Supply voltage rising time when power-on mode is cancelled	-20°C < $T_{\text{case}} \leq 90^{\circ}\text{C}$ < 100°C < 210°C	—	—	100	ns
t_{F03}	Supply voltage rising time when power-on mode is cancelled	-20°C < $T_{\text{case}} \leq 90^{\circ}\text{C}$ < 100°C < 210°C	—	—	100	ns
t_{F04}	Supply voltage rising time when power-on mode is cancelled	-20°C < $T_{\text{case}} \leq 90^{\circ}\text{C}$ < 100°C < 210°C	—	—	1	ms
t_{F05}	Supply voltage rising time when power-on mode is cancelled	0°C < $T_{\text{case}} \leq 85^{\circ}\text{C}$ < 100°C < 210°C	—	—	0.5	ms

2. When not using hardware reset 2, use with Vcc > 2.7V.
2. twprst is time to hold the external power below effective voltage (Vprst).



1. Hold the voltage of the microcomputer operation voltage range (Vcc or above) within sampling time
2. A sampling clock is selectable. Refer to "5.4 Voltage Detection Circuit" for details.
3. Also shows the voltage detection level of the voltage detection circuit. Refer to "5.4 Voltage Detection Circuit" for details.

Figure 16.3 Reset Circuit Electrical Characteristics

Table 16.12 Electrical Characteristics (2) [Vcc=5V]

Symbol	Parameter	Measuring condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Icc	Power supply current [Vcc=5.0V, I/O pins are open, and other pins are in high-imp mode, no output]	High speed mode [X=15 (1-bit square wave), Y=15 (1-bit square wave), Z=15 (1-bit square wave), Low speed on-chip oscillator on 10.0 MHz]	—	8	14	mA
		Medium speed mode [X=15 (1-bit square wave), Y=15 (1-bit square wave), Z=15 (1-bit square wave), Low speed on-chip oscillator on 10.0 MHz]	—	4	—	mA
		Low speed mode [X=10 (1-bit square wave), Y=10 (1-bit square wave), Z=10 (1-bit square wave), Low speed on-chip oscillator on 10.0 MHz]	—	3	—	mA
		High speed on-chip oscillator mode [X=15 (1-bit square wave), Y=15 (1-bit square wave), Z=15 (1-bit square wave), Low speed on-chip oscillator on 10.0 MHz]	—	6	9	mA
		Low speed on-chip oscillator mode [X=10 (1-bit square wave), Y=10 (1-bit square wave), Z=10 (1-bit square wave), Low speed on-chip oscillator on 10.0 MHz]	—	1.5	—	mA
		Low speed on-chip oscillator mode [X=10 (1-bit square wave), Y=10 (1-bit square wave), Z=10 (1-bit square wave), Low speed on-chip oscillator on 10.0 MHz]	—	400	—	μA
		Wait mode [X=15 (1-bit square wave), Y=15 (1-bit square wave), Z=15 (1-bit square wave), Low speed on-chip oscillator on 10.0 MHz]	—	40	—	μA
		Wait mode [X=15 (1-bit square wave), Y=15 (1-bit square wave), Z=15 (1-bit square wave), Low speed on-chip oscillator on 10.0 MHz]	—	38	—	μA
		Stop mode [X=15 (1-bit square wave), Y=15 (1-bit square wave), Z=15 (1-bit square wave), Low speed on-chip oscillator on 10.0 MHz]	—	0.1	—	μA
		Stop mode [X=15 (1-bit square wave), Y=15 (1-bit square wave), Z=15 (1-bit square wave), Low speed on-chip oscillator on 10.0 MHz]	—	—	—	μA

NOTES

1. The power supply current measuring is executed using the measuring program on flash memory.

2. Tracer V is operated with timer mode.

Timing requirements (Unless otherwise noted: Vcc = 5V, Vss = 0V at Ta = 25 °C) [Vcc=5V]

Table 16.13 Xin input

Symbol	Parameter	Unit	
		Standard	Max.
tc(Xin)	Xin input cycle time	50	
twh(Xin)	Xin input HIGH pulse width	25	
twl(Xin)	Xin input LOW pulse width	25	
		ns	

Table 16.14 CNTR0 input, CNTR1 input, INT2 input

Symbol	Parameter	Unit	
		Standard	Max.
tc(CNTR0)	CNTR0 input cycle time	100	
twh(CNTR0)	CNTR0 input HIGH pulse width	40	
twl(CNTR0)	CNTR0 input LOW pulse width	40	
		ns	

Table 16.15 TCIN input, INT3 input

Symbol	Parameter	Unit	
		Standard	Max.
tc(TCIN)	TCIN input cycle time	400 ¹	
twh(TCIN)	TCIN input HIGH pulse width	200 ²	
twl(TCIN)	TCIN input LOW pulse width	200 ²	
		ns	

NOTES

- 1: When using the Timer C input capture mode, adjust the cycle time above (1/ Timer C count source frequency x 3).
- 2: When using the Timer C input capture mode, adjust the pulse width above (1/ Timer C count source frequency x 1.5).

Table 16.16 Serial Interface

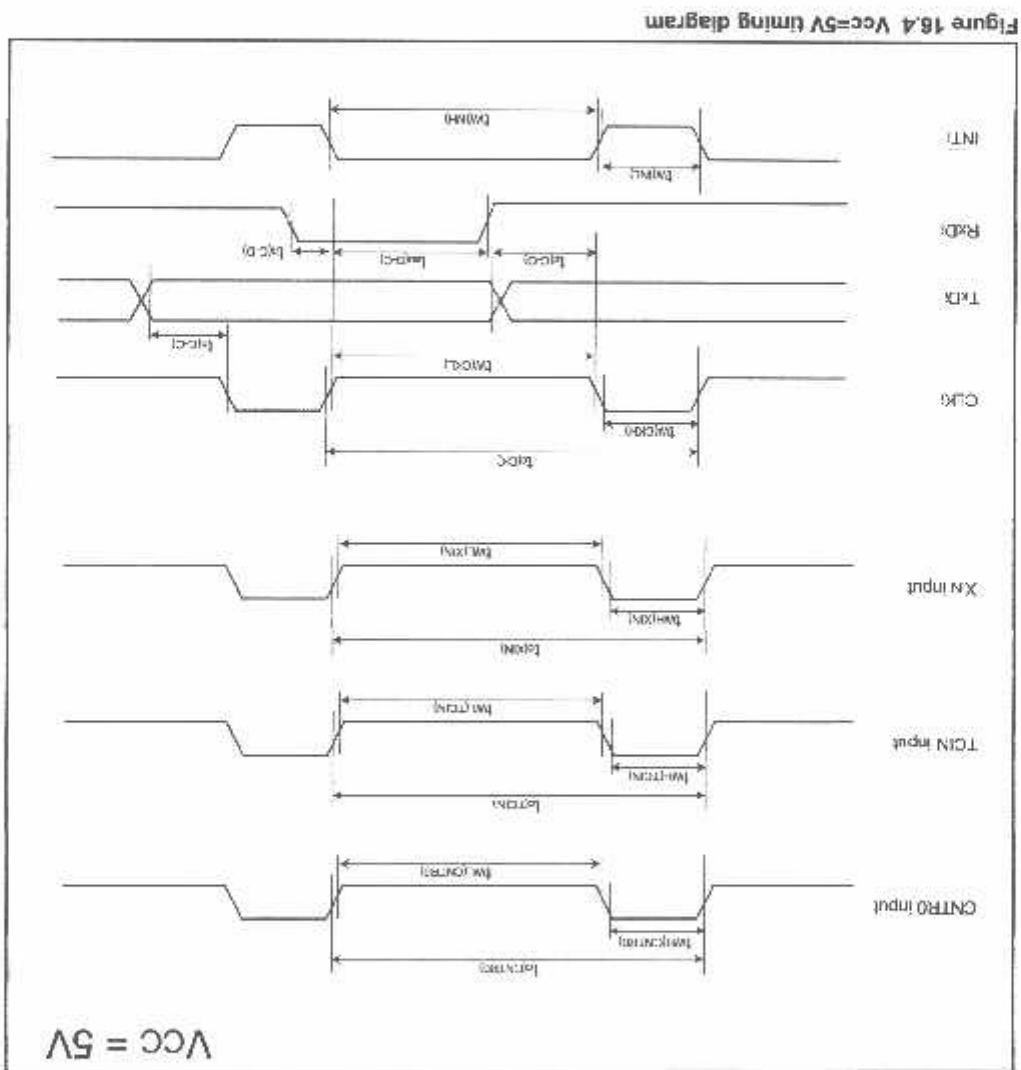
Symbol	Parameter	Unit	
		Standard	Max.
tc(CLK)	CLKI input cycle time	200	
tw(CKH)	CLKI input HIGH pulse width	100	
tw(CKL)	CLKI input LOW pulse width	100	
td(CO)	TXDI output delay time		80
tr(CO)	TXDI hold time		
tr(CO)	TXDI hold time		
tsu(D-C)	RxDI input setup time		35
th(CD)	RxDI input hold time		90
		ns	

Table 16.17 External interrupt INT0 input

Symbol	Parameter	Unit	
		Standard	Max.
tw(INH)	INT0 input HIGH pulse width	250 ¹	
tw(INL)	INT0 input LOW pulse width	250 ²	
		ns	

NOTES

- 1: When selecting the digital filter by the INT0 input filter select bit, use the INT0 input HIGH pulse width to the greater value, either (1/ digital filter clock frequency x 3) or the minimum value of standard.
- 2: When selecting the digital filter by the INT0 input filter select bit, use the INT0 input LOW pulse width to the greater value, either (1/ digital filter clock frequency x 3) or the minimum value of standard.



LEMBAR PERSETUJUAN



PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT PENYELEKSI APEL BERDASARKAN UKURAN DAN BERAT BERBASIS MIKROKONTROLER RENESAS R8C / 13

SKRIPSI


*Disusun Dan Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Elektronika Strata Satu (S1)*

Oleh :


HARIYANTO TUNGGUL PAWENANG
NIM : 01.17. 049

Diperiksa dan Disetujui

Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1


(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT.)
NIP.Y. 1039500274

Dosen Pembimbing


(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT.)
NIP.Y. 1018800189

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2007**
